



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MALLA SIPILÄ  
NURMIRADAN PÄÄLLYSRAKENTEEN SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastajat: yliopisto-opettaja Marja  
Palmroth ja professori Pauli Kolisoja  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
31. tammikuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**MALLA SIPILÄ:** Nurmiraan päällysrakenteen suunnittelu

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 84 sivua, 9 liitesivua

Syyskuu 2018

Ympäristötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Ympäristötekniikka

Tarkastajat: yliopisto-opettaja Marja Palmroth ja professori Pauli Kolisoja

**Avainsanat:** nurmirata, viherrata, rakenne, kuivatusratkaisut, kiintolaatta, kasvualusta, mikrokantava kasvualusta, koerakenne

Nurmira on raitiotierakenne, jonka pintamateriaalina on nurmikko. Raitiotien päällysrakenteeseen luetaan kuuluvaksi ratarakenteesta kiskot, raiteeseen kuuluvat elementit sekä sidotut ja sitomattomat tukikerrokset. Nurmiraan päällysrakenteeseen kuuluvat myö osa rakenteellisista kuivatusratkaisuista, kasvualustakerrokset sekä käyttävä kasvillisuus. Nurmiraan päällysrakenteet voidaan jakaa erilaisiin rakenteellisiin ja kasvillisuustasojen mukaisiin kategorioihin. Eri raitiotiekaupungeissa suunnitellut nurmiraan p  llysrakennratkaisut ovat kuitenkin kaupunkikohtaisia, joissa on huomioitu paikalliset olosuhteet sekä hankkeessa tehdyt suunnittelu- ja toteutusperiaatteet.

T  n diplomityön tavoitteena oli suunnitella nurmiraan päällysrakenne ja nurmiraan koerakenteet Tampereen raitiotiehankkeeseen. Suunnittelussa päällysrakenteessa k yt t  n Vignole -kiskoa, joka kiinnittyy rakenteeseen RhedaCity Green-p  lkyjen avulla. P  lky valetaan raiteen alla kulkevaan yhtenäiseen kiintolaattaan. Päällysrakenteen kuivatusratkaisut koostuvat kiintolaatan kallistuksista, kiintolaattojen välissä olevasta salaojaputkistoista salaojakaivoineen sekä päällysrakenteen ulkopuolisesta syv salaojaverkostosta.

Kasvualusta tarjoaa kasvillisuudelle optimaalisen kasvuym rist n, joka muodostuu erilaisten fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien avulla. Kasvin juuristo sitoutuu kasvualustaan ja juuriston avulla kasvi saa tarvitsemansa veden, hapen ja ravinteet. Yksi suurin kasvua rajoittava tekijä kasvualustassa on vesi ja vesitalouteen liittyvät ominaisuudet, kuten materiaalin vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. Tässä työssä nurmiraan päällysrakenteen kasvualustana käytetään joko nurmikon normaalia tuotteistettua kasvualustaa tai mikrokantavaa kasvualustaa, joka on sovellus katupuilla käyttävästä kantavasta kasvualustasta. Tässä työssä tehtiin laboratoriossa kahdeksalle erilaiselle mikrokantavalle kasvualustaseokselle vedenl p isevyky- ja vedenpid tyskykymittauksia. Näytteiden vedenläpäisevyys oli 60-2600 mm/vrk ja vedenpidätyskyky 3,8-15,1 masaprosenttia. Saatujen tulosten perusteella valittiin koerakenteisiin raekooltaan 8-16 mm mikrokantava kasvualusta testattavaksi materiaaliksi.

Nurmiraan koerakenteet suunniteltiin nurmiraan kiintolaattojen päälle autenttiseen ymp rist  n. Koerakenteissa seurataan kuuden erilaisen kasvualustaseoksen sekä kahden eri nurmikonsiemenseoksen toimivuutta nurmirataymp rist ss . Tutkittavia asioita ovat nurmikon ja sen juuriston kasvun seuranta, vaadittavien hoitotoimenpiteiden dokumentointi sekä kasvualustan kantavuuden tutkiminen. Päällysrakenteessa k ytt tt v t kasvualustatuotteet sekä nurmisiemenseos p  t t  n koerakenteista saatujen tulosten perusteella. Koerakenteista saatavia tuloksia ei käsitellä tässä työssä.

## ABSTRACT

**MALLA SIPILÄ:** Planning of the superstructure of the green track

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 84 pages, 9 Appendix pages

September 2018

Master's Degree Programme in Environmental Technology

Major: Environmental Technology

Examiners: University Teacher Marja Palmroth and Professor Pauli Kolisoja

**Keywords:** Green track, superstructure, slab track, substrate, test structures

Green track is a tramline structure with lawn as a surface material. A tramline superstructure includes rails from the track structure, track-related elements, and bound and unbound support layers. Green track superstructures also include some structural drying solutions, substrate layers and usable vegetation. Green track superstructures can be divided into diverse structural and vegetation-level categories. However, the superstructure solutions designed in different cities with tramlines are city-specific, taking into account the local conditions and the design and implementation principles of the project.

The goal of this Thesis was to design the superstructure of the green track and green track test structures for Tampere's tramline project. The designed superstructure uses Vignole rails that attach to the structure using RhedaCity Green sleepers. A sleeper is cast into a single fixed slab under the track. Drying solutions for the superstructure consist of fixed slab inclinations, drainage pipes between the fixed slabs and drainage wells, and a deep drainage network outside the superstructure.

The substrate provides an optimum growth environment for vegetation, which is made of different physical, chemical and biological properties. A plant's root system binds to the substrate and the root system enables the plant to receive necessary water, oxygen and nutrients. One of the main growth limiting factors in the substrate is water and water-related properties, such as water permeability and water retention capacity. In this Thesis, as the substrate for the green track superstructure, a substrate normally productized for lawn or micro-structural substrate are used, which is a modification from a bearing substrate used for street trees. In this Thesis, water permeability and water retention capacity measurements for eight different micro-structural substrate combinations were measured laboratory. Water permeability of the samples was 60-2600 mm/day and water retention capacity was 3.8-15.1% by mass. Based on the results obtained, a micro-structural substrate with a grain size of 8-16 mm was selected for the test structures as a testable material.

The test structures for green track were planned onto the fixed slabs of the green track in an authentic environment. The test structures monitor the performance of six different substrate compounds and two different lawn seed mixtures in the green track environment. The issues to be examined are monitoring of the growth of the lawn and its root system, documentation of the required handling measures and examination of the bearing capacity of the substrate. The substrate used in the superstructure and the lawn seed mixture are decided on the basis of the results obtained from the test structures. The results obtained from the test structures are not addressed in this Thesis.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty VR Track Oy:lle Tampereen raitiotiehankkeeseen vuosien 2017 ja 2018 aikana. Työssä suunnitellaan nurmiradan päällysrakenne sekä nurmiradan koerakenteet. Haluan kiittää VR Track Oy:tä ja Tampereen raitiotieallianssia uskalluksesta antaa haastava suunnittelutyö lopputyön aiheeksi. Kiitos koko Tampereen raitiotieallianssi -tiimille sekä erityisesti nurmiradan päällysrakenteen suunnitteluryhmälle ja työni ohjaajille Timo Kuuselalle ja Sari Yrjölälle ammattitaidon jakamisista, neuvoista ja ohjauksesta. Kiitos myös Marja Palmrothille ja Pauli Kolisojalle uutterasta työn ohjauksesta.

On ollut hienoa huomata, että uuden vihreän kaupunkiympäristön luominen ja suunnittelutyöni on kiinnostanut niin alalla työskenteleviä, alan opiskelijoita, mediaa kuin Tampereen kaupungin asukkaita. Erityiskiitos Suomen Neuvottelevien Insinöörien Liiton stipendirahaston hallitukselle kiinnostuksesta diplomityötäni kohtaan ja saamastani stipendistä.

Lopuksi haluan kiittää Hannaa, Emmaa, Juhaa ja muuta perhettä sekä Eevaa, Anua ja muita ystäviä hyvistä keskusteluista ja myötäelämisestä tämän haastavan suunnittelutyön parissa.

Päätän alkusanat samoihin sanoihin kuin jokaisen suunnittelutyöryhmän kokouksemme: Kyllä siitä vielä vihreä saadaan! Ja niin saatiin.

Tampereella, 13.9.2018

Malla Sipilä

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	VIHERRADAN PÄÄLLYSRAKENNE .....	3
2.1	Ratarakenne .....	3
2.2	Viherradan rakenteelliset ratkaisut .....	6
2.2.1	Radan rakennetyypin mukaan .....	6
2.2.2	Kasvutason korkeuden mukaan .....	9
2.3	Viherradan kuivatusratkaisut .....	12
2.4	Kasvualusta .....	14
2.5	Kasvillisuus ja kasvillisuudelta vaadittavat ominaisuudet .....	15
3.	KASVUALUSTAT JA NURMIKON JUURISTOKEHITYS .....	18
3.1	Kasvualusta ja sen koostumus .....	18
3.1.1	Kivennäismaa .....	18
3.1.2	Orgaaninen aines .....	19
3.1.3	Lannoitteet ja polymeerit .....	21
3.2	Kasvualustalta vaadittavat ominaisuudet .....	22
3.2.1	Yleiset ominaisuudet .....	22
3.2.2	Kasvualustan huokoisuus .....	23
3.2.3	Kasvualustan kantavuuteen vaikuttavat ominaisuudet ja kasvualustan tiiviys .....	24
3.2.4	Vedenläpäisevyys ja -pidätyskyky .....	25
3.3	Nurmikon juuristo ja sen kehitys .....	26
4.	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT JA SUUNNITTELUPROSESSI .....	29
4.1	Nurmiran suunnitteluprosessin yleiset lähtökohdat .....	29
4.2	Tampereen raitiotiehanke .....	30
4.3	Suunnitteluperusteet ja suunnittelun lähtötiedot .....	32
4.4	Suunnitteluprosessi ja tiedonhankinta .....	32
5.	NURMIRADAN PÄÄLLYSRAKENNERATKAISU .....	35
5.1	Päällysrakenne .....	35
5.1.1	Nurmiran alusrakennerratkaisut .....	35
5.1.2	Kiintolaatta .....	36
5.1.3	Kuivatus .....	40
5.1.4	Kasvualusta .....	42
5.1.5	Kasvillisuus .....	43
5.2	Rakennerratkaisun vertailu .....	44
5.2.1	Helsingin raitiotie .....	45
5.2.2	Raide-Jokeri .....	46
5.2.3	Dublin .....	47
5.2.4	Lund ja Wien .....	48
6.	KASVUALUSTAMATERIAALIEN LABORATORIOMÄÄRITYKSET .....	49
6.1	Laboratoriokokeiden lähtökohdat .....	49

6.2	Testattavat näyteseokset ja materiaalit .....	49
6.3	Laboratoriokoemääritykset .....	51
6.4	Tulokset.....	53
6.5	Tulosten vertailu .....	55
7.	NURMIRADAN KOERAKENTEET.....	66
7.1	Prosessin kuvaus.....	66
7.2	Koerakenne-, rakennus-, ja hoitosuunnitelma .....	67
7.3	Testattavat nurmikkolaadut .....	70
7.4	Testattavat kasvualustamateriaalit .....	71
7.5	Tutkimussuunnitelma.....	73
7.6	Mahdolliset tutkimussuunnitelman laajennukset .....	75
8.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	77
	LÄHTEET .....	79

LIITE A: Nurmiran rakenteellinen tyyppipoikkileikkaus

LIITE B: Laboratoriokokeissa käytettyjen kasvialustaseosten rakeisuuskäyrät

LIITE C: Asemakuva nurmiradan koealoista

LIITE D: Koealojen dokumentoinnin asiakirjapohja

# 1. JOHDANTO

Viherrata on raitiotie- tai ratarakenne, jonka pintamateriaalina on elävä kasvillisuus. Pintamateriaalina on usein joko nurmi- tai maksaruohopinta, mutta myös muita kasvillisuusvaihtoehtoja käytetään. Kun pintamateriaalina on nurmikko, käytetään rakenteesta yleensä nurmirata -nimitystä. Nurmiraata on siis yksi viherradan alatyyppejä. Viherrataa käytetään yleensä kohteissa, joissa raitiotie halutaan sulauttaa puistomaiseen kaupunkiympäristöön tai sillä halutaan luoda vihreämpää kaupunkiympäristöä. Viherradalla on useita positiivisia ominaisuuksia. Viherradat lisäävät viherympäristön määrää, mikä lisää asukasviihtyvyyttä ja millä on tutkitusti terveyttä edistäviä vaikutuksia. Viherradan kasvualustakerros vähentää raidemelua ja ympäristöön aiheutuvaa ääntä. Viherradan kasvillisuus ja kasvualusta toimivat sade- ja hulevesiä pidättävänä sekä joissain tapauksissa suodattavana rakenteena. [24]

Viherrata rakenteena luo haasteen suunnittelulle, sillä sen rakenteessa yhdistyvät monet eri osa-alueet. Raitiotieliikenne vaatii kantavan ja kestävä ratarakenteen, joka ottaa vastaan muista rakenteista ja liikenteestä aiheutuvat kuormitusvaikutukset. Viherradan raitiotierakenteilta vaaditaan samoja ominaisuuksia kuin muilta raitiotierakenteilta. Pintarakenteena oleva kasvillisuus taas edellyttää rakenteelta hyvän ja kestävä kasvun mahdollistavia rakenneosia ja materiaaleja. Usein viherradat sijaitsevat kaupunkikeskuksissa, jolloin viherpinnalta odotetaan korkeaa esteettistä tasoa. [14] Suomen olosuhteissa myös pohjamaan routiminen ja sen tuomat vaikutukset tulee huomioida päällysrakennetta suunniteltaessa.

Kasvualustamateriaalit ja niiden käyttö perustuvat Suomessa hyvin paljon kokemuseräiseen tietoon. Alan tutkimus on vähäistä ja paikalliset ilmasto-olosuhteet vaikuttavat maailmalla tehtyjen tutkimustulosten hyödynnettävyyteen. Kasvualustan käyttötarkoitus asettaa omanlaisensa vaatimukset kohteessa käytettävälle kasvualustamateriaalille. [64] Viherradan kasvualustalta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia kuin esimerkiksi normaalin puistonurmen tai urheilunurmikoiden kasvualustoilta. Viherradassa kasvualustan yhteys pohjamaahan on usein vähäinen tai sitä ei ole ollenkaan kasvualustan alla olevien ratarakenteiden ja sitomattomien alusrakennekerrosten vuoksi. Joissain tapauksissa viherradan kasvualustalta vaaditaan parempia kantavuusominaisuuksia kuin yleisillä puistomaisilla viheralueilla käytettäviltä kasvualustoilta. [24] Tässä työssä kantavuudella tarkoitetaan materiaalin kuormituskestävyyttä. Viherradan kasvillisuuden kasvun kannalta merkittävimpiä tekijöitä ovat kasvualustan vesitalouteen vaikuttavat ominaisuudet. Kasvualustan tulee pidättää sekä läpäistä vettä. Vesitalouteen vaikuttavia ominaisuuksia voidaan selvittää laboratoriokokein tutkimalla mm. kasvualustan fysikaalisia ominaisuuksia.

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella nurmiradan päällysrakenne Tampereen raitiotie-hankkeelle. Tampereen raitiotien viherrata on nurmikkopintainen, joten tämän vuoksi rakenteesta käytetään nurmirata -nimitystä. Työn tilaajana on VR Track Oy, joka on yksi Tampereen raitiotieallianssin suunnittelu- ja rakentajaosapuolista. Työn lopputuloksena on nurmiradan rakenteellinen tyyppipoikkileikkaus sekä nurmiradan kuivatuksen periaatepiirustukset, joiden avulla nurmiradan päällysrakenteesta voidaan toteuttaa katukohtaiset rakennussuunnitelmat. Lisäksi tässä työssä suunnitellaan nurmiradan koerakenteet sekä tehdään niiden rakennus-, hoito- ja tutkimussuunnitelma.

Tämä diplomityön teoriaosissa, luvuissa kaksi ja kolme, käsitellään lyhyesti viherradan päällysrakenteen rakenneosien teoriaa sekä kasvualustojen koostumusta, nurmikon juuriston kasvuun vaikuttavia tekijöitä ja kasvun kannalta oleellisia kasvualustan fysikaalisia ominaisuuksia. Luvussa viisi käsitellään Tampereen raitiotiehankeeseen suunniteltu viherradan päällysrakenne, painottuen kiintolaatta- ja kuivatusratkaisuihin. Luvussa kuusi käsitellään tässä työssä erilaisille mikrokantaville kasvualustamateriaaleille tehtyjä laboratoriokokeita ja niiden tuloksia. Mikrokantavalla kasvualustalla tarkoitetaan kantavan kasvualustan sovellusta, jossa kivennäismateriaali on korvattu kantavaan kasvualustaan nähden raekooltaan pienemmällä sepelillä. Luvussa seitsemän esitetään suunniteltujen nurmiradan koerakenteiden rakennus-, hoito- ja tutkimussuunnitelma.

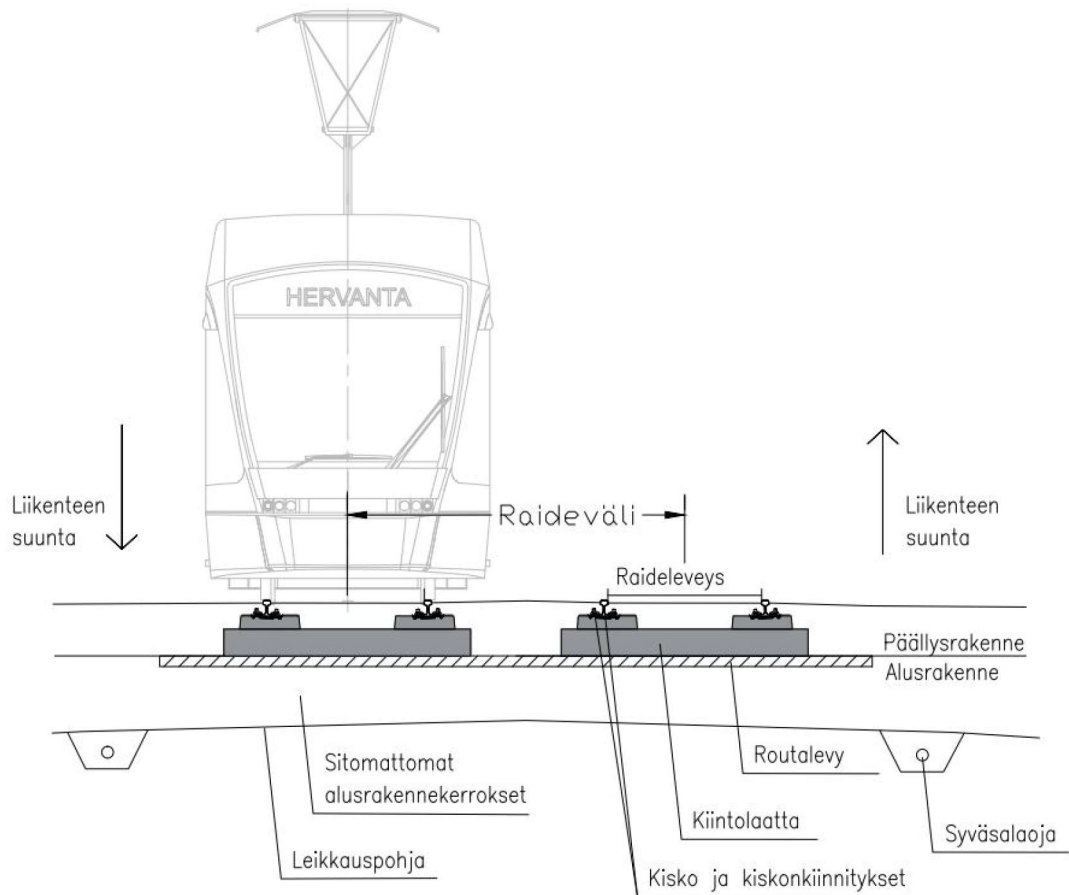
Tässä työssä perehdytään viherradan päällysrakenteen osalta kiintolaattaratkaisuun, kuivatusratkaisuihin, kasvualustamateriaaleihin ja nurmikonsiemenseoksiin. Muut viherradan päällysrakenteen komponentit, kuten kiskokiinnitykset, hajavirtojen hallinta, ratatekniset järjestelmät ja kaapeloinnit rajattiin pois tästä työstä yhtenäisen kokonaisuuden saavuttamiseksi. Nämä osa-alueet on kuitenkin huomioitu varsinaista suunnittelutyötä tehtäessä.



## 2. VIHERRADAN PÄÄLLYSRAKENNE

### 2.1 Ratarakenne

Raitiotien rakenne koostuu samoista rakenneosista kuin normaali rautatien ratarakenne. Tärkeimmät raitiotien rakennekerrokset sekä määritelmät on esitetty kuvassa 1. Tämän työn kannalta tärkeimpiä raitiotieteknisiä määritelmiä ovat raideleveys, raideväli, raide ja rata. Raideleveys on etäisyys kiskojen kulkureunojen välillä. Raideleveys mitataan 14 mm kiskon selän, eli kiskon korkeimman kohdan, alapuolelta. Raideväli on kahden vierekkäisen raiteen keskilinjojen välinen etäisyys. [58] Raide on raitiovaunuliikenteen mahdollistava rakenne, joka koostuu kiskosta, kiskokiinnityksistä, kiskon jatko-osista, vaihteista, muista raiteen erikoisrakenteista sekä ratapölkystä. Rata koostuu yhdestä tai useammasta raiteesta, raiteiden rakennekerroksista, kaikista radan rakenteisiin kuuluvista ja liikenteen hoitamiseen tarvittavista erikoisrakenteista ja -laitteista sekä raitiotieliikenteen mahdollistavien rakenteiden maaston pinnanmuodostuksen tasaamisesta tarvittavista rakenteista. [59]



**Kuva 1.** Raitiotien rakenne ja osat.

Raitiotien rakennekerrokset voidaan jakaa alus- ja päällysrakennekerroksiin. Rakennekerrokset rakennetaan pohjamaan tai penkereen päälle. Pohjamaan ja alusrakennekerrosten rajapintaa kutsutaan leikkauspohjaksi. Alusrakenne voi koostua yhdestä tai monesta eri sitomattomasta rakennekerroksesta. Alusrakennekerroksiin luetaan kuuluvaksi myös erilaiset sidotut pohjanvahvistusrakenteet, kuten paalulaattarakenteet ja routasuojaukseen tarkoitetut routasuojauslevyt. Alusrakennekerrosten tehtävänä on siirtää ja jakaa kuormia pohjamaalle, estää alusrakennekerrosten alapuolisten maakerrosten routimista, estää pohjamaasta mahdollisen kapillaarisen veden nousu ylempiin rakennekerroksiin sekä muodostaa tasaisen ja kantavan alustan päällysrakennekerroksille. [59] Alusrakennekerros- materiaalien tarkemmat laatuksiteerit on määritetty InfraRYL:ssä, jossa on määritetty infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. [29] Rakennushankkeen suunnitelmissa voidaan täsmmentää rakennekerros- materiaalien vaatimuksia hankekohtaisilla vaatimuksilla.

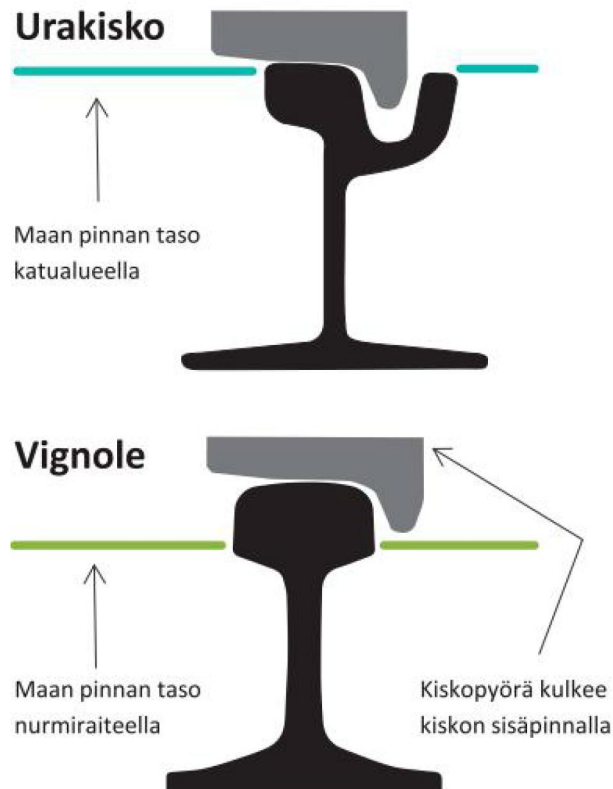
Raitiotien päällysrakenne koostuu kiskosta, raiteeseen kuuluvista elementeistä sekä sidotuista ja sitomattomista tukikerroksista. Raitiotierakenteen sitomaton tukikerros koostuu sepelistä, jolloin rakenteesta käytetään nimitystä sepeliraide. Mikäli raitiotien tukikerros koostuu sidotuista rakennekerroksista, käytetään rakenteesta termiä kiintoraide. Kiintoraiteessa sidottu tukikerros on yleensä betoninen laatta. [14] Tukikerroksen tehtävä on pitää raiteet niin vaaka- kuin pystygeometrisesti oikeassa asemassa ja asennossa sekä jakaa rakenteesta ja liikenteestä aiheutuvat kuormat tasaisesti alemmille rakennekerroksille. [59]

Päällysrakenteeseen kuuluvat myös hajavirtojen hallintaan käytettävät, kisko- jen molemmille sivuille ja alapuolelle kiinnitettävät kumiset eristeet. Raitiotieliikenteessä hajavirta on raitiotievaunujen käyttämän sähkövirran paluuvirtaa, joka kulkee maaperässä. Maaperään pääsevä hajavirta saattaa aiheuttaa korroosiota rakenteissa. [39] Päällysrakenteeseen kuuluvat myös erilaiset raitiovaunuliikenteen mahdollistavat tekniset järjestelmät. Niihin kuuluvat muun muassa erilaiset kaapeloinnit, jotka kulkevat yleisesti tukikerroksessa tai sen yläpuolella. [14]

Kiskot ovat tärkeä osa raitiotierakennetta. Kiskot muodostavat raitiotievaunun pyörän kanssa kisko-pyöräkontaktin, joka mahdollistaa vaunujen liikkumisen kiskoa pitkin. Lisäksi kiskot vastaanottavat kaikki raitiotievaunusta aiheutuvat voimat ja jakavat ne alemmille rakennekerroksille. Kiskoprofiileja on olemassa hyvin monia erilaisia. Yleisimmät raitiotierakenteissa käytettävät kiskotyypit ovat Vignole -kisko ja urakisko. Vignole -kiskoa käytetään myös normaalissa raideliikenteessä. [13]

Euroopassa on oma kiskoprofiilistandardi, johon kansalliset kiskoprofiilistandardit perustuvat. Standardi määrittelee kiskoprofiilien merkinnät. Samasta kiskotyypistä on olemassa useita kiskoprofiileita. Yleisesti kiskoprofiilit on nimetty kirjaimella ja numerolla. Esimerkiksi raitiotieliikenteessä käytettäviä Vignole -kiskoa merkitään standardin mukaan merkinnällä E1, E3 tai E4. Urakiskomalliset kiskot merkitään R1, R2, C1 tai C2 -

merkinnöillä. Kiskoprofiilimerkinnän edessä on numero, joka kuvaa kiskon painoa yksikössä kg/m. Kiskojen materiaali on aina terästä. [14] Kuvassa 2 on esitetty kiskoprofiilit, miten pyörä-kiskokontakti muodostuu Vignole- ja urakiskolla. Kuvassa on esitetty myös maanpinnan taso kiskoon nähden.



**Kuva 2.** Raitiotierakenteissa yleisimmin käytettävät kiskotyypit [60].

Kiskon tärkeänä tehtävänä on mahdollistaa raitiovaunun liike, joka muodostuu kisko-pyöräkontaktin avulla. Raitiovaunussa on samankaltainen pyörä kuin normaalin raideliikenteen junanvaunuissa. Vaunun pyörässä oleva laippa estää vaunun tippumisen kiskon päältä. Urakiskossa pyörän laippa kulkee kiskon urassa, joka mahdollistaa maanpinnan tason samaan korkeusaseman kiskon selän kanssa. Vignole -kiskossa pyörän laippa kulkee kiskon sisäpuolella. Kiskossa ei ole uraa laipalle, joten maanpinnan tulee olla vähintään pyörän laipan verran kiskon selän alapuolella. Tämän vuoksi Vignole -kiskoa käytetään raitiotiessä raideosuuksilla, joissa ei ole muuta kuin raitiotieliikennettä. Tällöin pintamateriaalin yläpinta voidaan laskea kiskon selän tasosta alaspäin. [14]

## 2.2 Viherradan rakenteelliset ratkaisut

### 2.2.1 Radan rakennetyypin mukaan

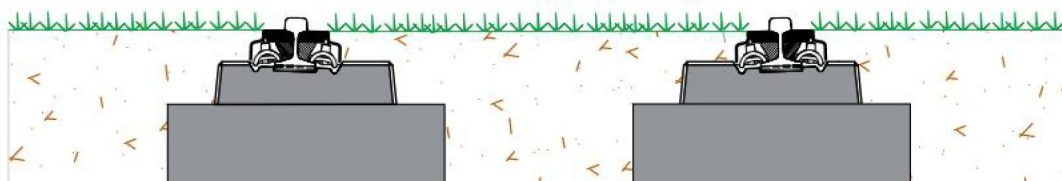
Viherrata vaatii aina kasvukerroksen alle ratarakenteet, jotka mahdollistavat raitiotieliikenteen turvallisen ja toiminnallisen kulkemisen. Viherradan päällysrakenteille ei ole olemassa sitovaa säännöstöä. Saksassa tehtyä raitiotieliikenteen BOSTRAD -ohjeistoa on kuitenkin käytetty monen suunnitteluratkaisun pohjana. Säännöstön puuttuessa viherradan ratarakenteilla ei ole olemassa yhtä rakenteellista ratkaisua. Eri raitiotiekaupungeissa suunnitellut nurmiradan päällysrakenneratkaisut ovat kaupunkikohtaisia, jossa on huomioitu paikalliset olosuhteet sekä hankkeessa tehdyt suunnittelu- ja toteutusperiaatteet. [14]

Ennen varsinaisen suunnitteluprosessin aloitusta tulisikin määritellä hankekohtaiset suunnitteluperusteet ja rakenteelta sekä kasvualustakerrokselta vaadittavat ominaisuudet, jotka ohjaavat suunnittelua. Viherradan ratatekniset ominaisuudet ovat usein samat kuin hankkeen muilla raitiotieosuuksilla. Kasvualustalle määriteltävä, suunnittelua ohjaava ominaisuus on esimerkiksi kasvualustalta vaadittu kantavuus. Myös lopullisen viherpinnan hoidollinen laatutaso sekä hoitotoimenpiteiden toteutus tulisi päättää suunnittelun alkuvaiheessa, koska sillä on suuresti vaikutusta valittuun kasvillisuuteen ja kasvualustaan. Näitä ovat muun muassa käytettävä leikkaus- ja kastelukalusto. Esimerkiksi viherradan kastelu voidaan toteuttaa kasvualustaan asennettavalla kastelujärjestelmällä tai pinnan päältä erilaisilla kastelukalustoilla. [24]

Viherradan ratatekniset ratkaisut voidaan jakaa kolmeen rakenteelliseen tyyppiin; pölkkyrakenteeseen, kiintolaattarakenteeseen sekä näiden yhdistelmään. Jako voidaan tehdä myös paikalla tehtäviin, osittain paikalla tehtäviin ja täysin tehdasvalmisteisiin ratkaisuihin. Pölkkyrakenteet ovat usein tehdasvalmisteisia tuotteita, kiintolaattarakaisut ovat joko paikalla tehtäviä tai osittain paikalla tehtäviä ratkaisuja. Yhdistelmäratkenteet ovat yleensä osittain paikalla tehtäviä rakenneratkaisuja. [14]

Pölkkyrataratkaisu muistuttaa normaalia junaliikenteen ratarakennetta, jossa kisko kiinnittyy kiskonkiinnityselementtien kautta ratapölkkyyn, joka on erilaisten sitomattomien rakennekerrosten päällä. Raitiotierakenteissa pölkkyllistä rakenneratkaisua voidaan käyttää niin Vignole- kuin urakiskoilla. Viherrataan sopivia pölkkyratkaisuja on usealla valmistajalla ja pölkkyjä on monilla eri dimensioilla. Viherradan pölkkyrataratkaisun hyviä teknisiä ominaisuuksia ovat rakenteeseen saatava paksu kasvualustakerros sekä kuivatusratkaisujen vaivattomuus, sillä ratarakenteessa ei ole yhtenäistä vettä läpäisemätöntä pintaa, joka estäisi kasvualustan läpi suotautuvien hulevesien kulun pohjamaahan tai kuivatusrakenteisiin. Huonona puolena pölkkyrataratkaisussa on rakenteen painuminen pitkän ajan saatossa ja siitä aiheutuvat ratarakenteen tukemistyöt. Tukemistyöt vaativat kasvillisuuden ja kasvukerrosmateriaalin poistamisen ennen korjaustyön suorittamista. Tämän vuoksi viherradan pölkkyrakenteisen ratarakenteen korjaustyöt ovat hankalia ja kalliita tehdä. [24]

Kiintolaattaratkaisussa kisko kiinnittyy erilaisten kiskokiinnitysten kautta yleensä betoniseen kiintolaattaan. Kiintolaattaratkaisut soveltuvat sekä ura- että Vignole-kiskoprofiileihin. Kiintolaatan alla ovat alusrakenteen sidotut tai sitomattomat rakennekerrokset. [14] Kiintolaattamalleja on useita, mutta ne voidaan jakaa kolmeen eri rakenteelliseen ratkaisuun: kiskon, raiteen tai radan alla kulkevaan kiintolaattaan. [10] Kuvassa 3 on esitetty periaatepoikkileikkaus kiintolaattavaihtoehdosta, jossa kiintolaatat kulkevat erillisinä jokaisen kiskon alla.



**Kuva 3.** Periaatekuva kiintolaattaratkaisusta, jossa raiteen alla kulkee kaksi erillistä kiintolaattaa.

Tässä rakenteellisessa ratkaisussa raiteen alla olevat kiintolaatat yhdistetään toisiinsa betonisin tai metallisin rakentein tasaisin välein. Tällä saadaan varmistettua, että laattojen välinen keskinäinen etäisyys ja näin ollen raideleveys pysyy muuttumattomana koko raidepituudella. Tämän rakenteellisen ratkaisun hyviä ominaisuuksia on, että laatoissa tarvittava raudoituksen ja betonin määrä on 20-50 % vähäisempi muihin kiintolaattavaihtoehtoihin verrattuna, kasvualustaa saadaan rakenteeseen paksu kerros ja kuivatusratkaisut ovat yksinkertaisemmat. Rakenteessa kasvualustan läpi suotautuva hulevesi pääsee liikumaan vapaasti päällysrakenteen läpi alempiin rakennekerroksiin sekä kuivatusrakenteisiin. Kyseisessä rakenneratkaisussa heikkoutena on rakenteen pohjamaalta vaadittavat suuremmat kantavuudet verrattuna muihin rakenteellisiin ratkaisuihin. Kyseinen rakenneratkaisu vaatisi heikoilla pohjamaa-alueilla suuria alusrakennerrakenteita tai sitomattomia alusrakennerrakenteita. Nämä kasvattavat rakentamiskustannuksia ja lisäävät rakentamiseen kuluva aikaa. Tämän vuoksi kyseistä rakenteellista ratkaisua ei suositella käytettäväksi kantavuudeltaan heikkolaatuisen pohjamaan alueilla. Kyseisessä rakenteessa kasvualustan kerrospaksuudet saattavat vaihdella suuresti rakenteen eri osissa, jolloin valmiin kasvillisuuspinnan viherpeittävyys sekä kasvun lopputulos saattavat olla epätasaisia. [24]

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty kiintolaattaratkaisut, joissa yhtenäinen kiintolaatta kulkee raiteen tai raiteiden alla. Kyseiset kiintolaattaratkaisut tasaavat liikenteestä ja kiintolaatasta aiheutuvat kuormat tasaisemmin alempiin rakennekerroksiin, jolloin ne soveltuvat monipuolisemmin eri alusrakennetyyppeihin sekä heikommille pohjamaille. [24]



**Kuva 4.** Periaatepoikkileikkaus kiintolaattaratkaisusta, jossa on yhtenäinen kiintolaatta yhden raiteen alla



**Kuva 5.** Periaatepoikkileikkaus kiintolaattaratkaisusta, jossa on yhtenäinen kiintolaatta kaikkien raiteiden alla

Ratkaisuissa kasvualustakerrospaksuudet jäävät pienemmiksi kuin jokaisen kiskon alla olevassa laattaratkaisussa yhtenäisen laatan vuoksi. Radan tai raiteen alla olevissa kiintolaattaratkaisuihin on erityisesti huomioitava laatan päälle kertyvät sade- ja hulevedet. Tämän kaltaisissa kiintolaattaratkaisuihin on usein kiintolaattaan rakennettu aukkoja tai reikiä kasvualustan läpi suotautuvien hulevesien poisjohtamiseksi kiintolaatan päältä. Kyseiset aukot täytetään yleensä hyvin vettä johtavalla sepelillä. [3] Tämän kaltaiset aukkoratkaisut lisäävät rakentamisaikaisia työvaiheita ja kasvattavat rakentamisaikaa muotitus- ja raudoitustyön lisääntyessä. [50]

Pölkky- ja kiintolaattaratkaisujen yhdistelmässä on ratapölkkyrakenne, jossa kisko kiinnittyy ratapölkkyyn ja pölkky kiinnittyy kiintolaattaan. Kuvissa 3, 4 ja 5 on piirretty tämän kaltaisen rakenne, sillä niissä kisko kiinnittyy pölkkyyn ja ratapölkky on osittain kiintolaattarakenteen sisällä. Kyseisessä rakenteessa käytettävät pölkkyt voivat olla joko kokonaista ratapölkkyä muistuttavia pölkkyjä, jotka sidotaan betonilla pölkkyjen alle rakennettavaan kiintolaattaan. Toinen vaihtoehto on osittain betonoitu pölkky, jossa kiskon alla on normaalia betonipölkkyä muistuttava rakenne ja välissä ainoastaan raudoitus. Tämän kaltaisen pölkky upotetaan syvemmälle kiintolaattarakenteeseen. Rakenteen hyvinä puolina ovat pelkkään kiintolaattaratkaisuun verrattuna pölkkyratkaisussa valmiina olevat kiskonkiinnikkeet ja rakenteeseen saatava paksumpi kasvualustakerrospaksuus. Pölkkyllisessä ratkaisussa kiintolaatan yläpinta on syvemmällä kuin pelkässä kiintolaattaratkaisussa. [24]

## 2.2.2 Kasvutason korkeuden mukaan

Viherradat jaetaan yleisesti kolmeen rakenteelliseen ryhmään kasvualustan ja kasvillisuuden pinnan korkeuden mukaan. Nämä ryhmät ovat korkean tason kasvillisuustyyppi (high-level vegetation), matalan tason kasvillisuustyyppi (low-level vegetation) ja monitasoinen kasvillisuustyyppi (mixed level type). Rakenneratkaisun nimi juontuu suoraan kasvillisuuspinnan tasosta ja jokaista rakenteellista ratkaisua voidaan käyttää niin nurmikko- kuin maksaruohokasvillisuuden kanssa. [14] Nämä rakenneratkaisut on esitetty alla olevissa kuvissa 6, 7 ja 8.

Suomessa viherradat ovat harvinaisia, jonka vuoksi niihin liittyvät termistöt eivät ole vakiintuneita. Korkean tason kasvillisuustyyppistä käytetään myös nimitystä suljettu rakenne. Matalan tason kasvillisuustyyppistä käytetään nimitystä avoin rakenne. Tässä työssä termeinä käytetään englanninkielisistä termistöistä suomennettuja korkeaa ja matalaa kasvillisuustyyppiä.

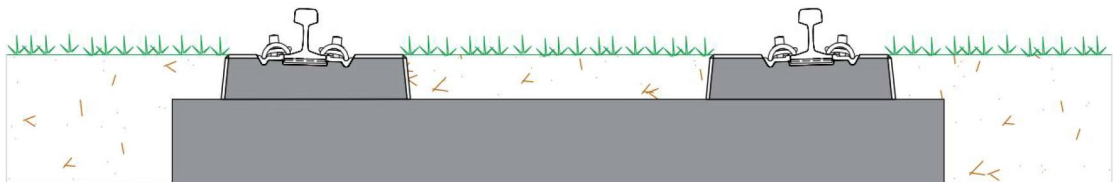


**Kuva 6.** Periaatekuva viherradan korkean tason kasvillisuustyyppistä.

Korkean tason kasvillisuustyyppissä käytetty kasvillisuuden tai kasvualustan yläpinta on kiskon yläpinnan tasossa tai muutaman sentin kiskon yläpinnan alapuolella. Viherradassa käytetty kiskotyyppi vaikuttaa korkean tason kasvillisuustyyppissä olevan kasvualustan yläpinnan tasoon. Vignole -kiskoa käytettäessä kasvualustan yläpinta jää 3-5 cm kiskon yläpinnan alapuolelle johtuen muun muassa raitiotievaunujen pyörälle tarvittavasta tilasta. Urakiskoa käytettäessä kasvualustan yläpinta voidaan tuoda lähes samalle tasolle kiskon yläpinnan kanssa. Vaikka Vignole -kiskolla kasvualustan yläpinta jää kiskon yläpintaa matalammalle, nurmikon tai muun käytetyn kasvillisuuden yläpinta on kiskon yläpinnan kanssa samassa tasossa tai korkeammalla. [14] Korkean tason kasvillisuustyyppin hyvät ja huonot ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Korkeatasoisen kasvillisuustyypin hyvät ja huonot ominaisuudet [24]

Plussat	Miinukset
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luo korkeatasoista ja yhtenäistä kaupunkiympäristöä, koska ratarakenteet eivät ole näkyvissä.</li> <li>- Suurempi hulevesien pidättävyyskapasiteetti suuremman kasvualustapinta-alan myötä.</li> <li>- Paksumpi kasvialustapaksuus luo paremmat edellytykset kasvillisuuden kasvuun.</li> <li>- Lehdet, nurmikon leikkuujäte ja roskat eivät jää niin helposti ratarakenteisiin ja kiskoisiin. Pienentää lehtikeliongelmaa kiskoilla ja parantaa näin ollen rataturvallisuutta.</li> <li>- Kasvillisuuden hoito ja huolto on mahdollista toteuttaa suuremmalla ja normaalilla viheralueiden hoito- ja huoltokalustolla.</li> <li>- Vähentää melua koteloidun kiskorakenteen vuoksi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ratarakenne ei erotu muusta maisemasta, jolloin ihmiset eivät välttämättä huomaa raitiotietä, mikä luo turvallisuusriskin.</li> <li>- Haastavampi rakenne eristää ja hallita hajavirtoja. Nurmikko ei saa missään vaiheessa olla kontaktissa kiskon kanssa.</li> <li>- Nurmikko tai muu kasvillisuus saattaa kärsiä lumen harjauksessa ja aurauksessa.</li> <li>- Nurmen tai muun kasvillisuuden talvikestävyys on koetuksella ohuen lumipeitteen vuoksi.</li> <li>- Raitiotievaunut/moottorit saattavat vaurioittaa nurmipintaa.</li> <li>- Kiskonkiinnitysten hoito ja huolto ovat hankalampia toteuttaa, koska rakenteet ovat täysin kasvialustamateriaalin peitossa.</li> </ul>

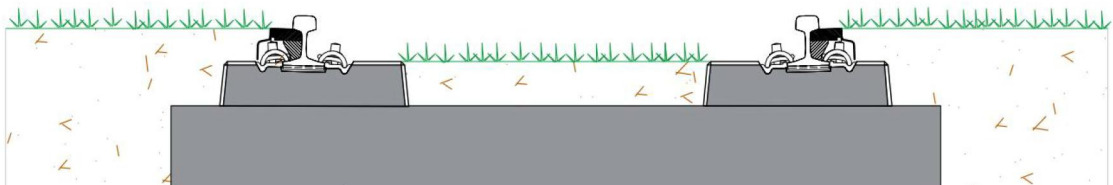
**Kuva 7.** Periaatekuva viherradan matalan tason kasvillisuustyypistä.

Matalan tason kasvillisuustyypin rakenne, jossa kasvillisuuden taso on yleensä samassa tasossa kiintolaatta- tai pölkkyrakenteen kanssa. Tässä rakennetyypissä kisko ja kiskonkiinnitysrakenteet ovat täysin näkyvissä. Matalan tason kasvillisuustyypin rakennetarkoituksessa on mahdollista käyttää sekä Vignole- että urakiskoa. Vignole-kiskon käyttö on tämän kaltaisissa kasvillisuustasotarkoituksissa yleisempää, sillä urakiskon käytölle ei ole tarvetta, sillä pyörän laipalle on tilaa myös ilman urakiskon uraa. Kyseistä kasvillisuustyyppitarkoitusta ei voida käyttää kaikilla kiintolaattarakenteilla, sillä kaikissa kiintolaattarakenteissa ei jää tarvittavaa tilaa kasvialustamateriaalille. Matalan tason kasvillisuustyyppiä käytetään yleensä aukkomaallisissa kiintolaattarakenteissa ja pölkkyradoilla. [24] Matalan tason kasvillisuustyyppitarkoituksen hyvät ja huonot ominaisuudet on esitetty taulukossa 2.



**Taulukko 2.** Matalatasoisen kasvillisuustyyppiratkaisun hyvät ja huonot puolet.  
[24]

Plussat	Miinukset
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nurmikko ei ole helposti kontaktissa kiskon kanssa, joten hajavirtojen hallinta on helpompia toteuttaa.</li> <li>- Talviolosuhteissa lumen harjausta ja aurausta harvoin tarvitaan, joka vähentää talvikunnossapidon tarvetta.</li> <li>- Raitiotievaunujen/moottorien aiheuttamat nurmikkovauriot jäävät pienemmiksi, sillä nurmipinta ei ole niin lähellä vaunukaluston pohjaa.</li> <li>- Raiteiden ja kiskonkiinnitysten hoito ja huolto on vaivatonta, koska rakenne on täysin esillä.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ratarakenne erottuu selvästi viherpinnasta, eikä näin ollen luo yhtenäistä vihermattomaista kuvaa.</li> <li>- Pienempi hulevesien pidättävyyskapasiteetti rakenteessa olevan pienemmän kasvualustatilavuuden myötä. Kasvillisuuden kasvuolosuhteet ovat usein heikommat verrattuna muihin ratkaisuihin.</li> <li>- Viherradan hoito, kuten leikkaus vaatii yleensä erikoiskalustoa ja näin ollen hoitokustannukset ovat suurempia. Lehtijäte jää helposti esimerkiksi kiskonkiinnityksiin kiinni ja lisää niiden hoito- ja huoltotarvetta.</li> <li>- Kisko-pyörä -kontaktista syntyvä melu on suurempaa kuin muissa vaihtoehtoisissa, kun kasvualustan melua pidättävää vaikutusta ei ole.</li> </ul>



**Kuva 8.** Periaatekuva viherradan monitasoisesta kasvillisuustyyppiratkaisusta.

Monitasoinen kasvillisuustyyppiratkaisu on sekoitus kahdesta edellä esitetystä kasvillisuustyyppiratkaisusta. Tässä kasvillisuustyyppiratkaisussa kiskojen välinen kasvillisuuden taso on matalan tason kasvillisuustyypin mukainen, kun taas kiskojen ulkoreunoilla kasvillisuus on korkean tason kasvillisuustyypin tasolla. Tässä kasvillisuustyyppiratkaisussa on pyritty tuomaan edellä esitettyjen ratkaisuiden hyvät ominaisuudet yhteen rakenteeseen. Tämän kasvillisuustyyppiratkaisun hyvät ja huonot ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Monitasoisen kasvillisuustyyppiratkaisun hyvät ja huonot ominaisuudet [24]

Plussat	Miinukset
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ratarakenne erottuu osittain viherpinnasta, jolloin se lisää rakenteen näkyvyyttä ja lisää turvallisuutta. Siivuilla oleva korkeampi kasvillisuuden taso luo kuitenkin tunnelmaa yhtenäisestä viheralueesta.</li> <li>- Raiteen välissä oleva matalampi kasvillisuustaso ei ole niin herkkä kalustosta aiheutuviin kasvillisuusvaurioihin.</li> <li>- Raitiotievaunujen/moottorien aiheuttamat nurmivauriot jäävät pienemmiksi, sillä nurmipinta ei ole niin lähellä vaunukaluston pohjaa.</li> <li>- Jäälle ja lumelle on enemmän tilaan raiteiden välissä, mikä vähentää harrjauksen ja aurauksen tarvetta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rakenteessa on usein monia eri kasvualustakerrospaksuuksia, jolloin nurmipinnasta tulee helposti epätasainen ja raitainen.</li> <li>- Monessa eri tasossa oleva kasvillisuus luo haastetta kasvillisuuden hoidolle, varsinkin nurmikon leikkauksessa.</li> <li>- Viherradan vaikutus hulevesiä pidättävänä rakenteena ovat vähäiset osittain ohuiden kasvualustakerroksien vuoksi.</li> <li>- Raiteiden välinen tila muodostaa lehdille ja muulle roskalle kaukalon.</li> </ul>

## 2.3 Viherradan kuivatusratkaisut

Sepeli- ja viherrataa lukuun ottamatta muissa raitiotierakenteissa raitiotierakenteen pintamateriaalina oleva asfaltti tai kiveys ovat vettä läpäisemättömiä tai heikosti vettä läpäiseviä materiaaleja. Tällöin sadevedet johdetaan pintavaluntana hulevesiverkostoon kuivatusrakenteissa olevien kaivojen kautta. Viherradan pintarakenteena oleva kasvillisuus on vettä läpäisevää ja kasvualustalta vaaditaan vettä pidättäviä ominaisuuksia. Kasvillisuuden kasvun kannalta viherradan kasvualustarakenteen optimaalinen vesipitoisuus on ensiarvoisen tärkeää. Kasvualustan tulee pidättää vettä ja samalla johtaa ylimääräinen vesi pois alempiin rakennekerroksiin. Raitiotien ratarakenteiden tulee olla hyvin vettä läpäiseviä, eikä kasvualustan läpi suotautuvat vedet saa jäädä ratarakenteisiin ylläpidon, stabiiliteetin, hajavirtojen hallinnan ja routimisen vuoksi [24]. Suomen ilmasto-olosuhteissa liiallinen vesi rakenteessa mahdollistaa roudan muodostumisen. Raitiotierakenteissa routiminen ei ole sallittua. [59]

Viherradan kuivatusratkaisut mitoitetaan siten, että ne pystyvät käsittelemään ja johtamaan rankkasateidenkin sadevedet halutussa ajassa. Osa, noin 10 - 40 % sadevesistä voidaan olettaa kulkeutuvan pintavaluntana, jonka vuoksi viherradan pintaan tulee asettaa rutiläkaivoja kuivatuksen kannalta kriittisiin paikkoihin. Näitä ovat kohdat, joissa radan

pituuskaltevuudet muodostavat notkopaikkoja sekä alueet, joissa ratatyyppi muuttuu esimerkiksi liittymäalueilla. [72]

Viherradoissa suurin osa sadevesistä suotautuu kasvualustaan, josta osa haihtuu ilmaan, osan käyttää viherradan kasvillisuus, osa varastoituu kasvualustaan ja loppu suotautuu kasvualustarakenteen läpi. Kuivatusratkaisut ja niiden toimiminen on erittäin tärkeää erityisesti Suomessa ja muissa routimiselle alttiissa maissa, sillä kasvualustarakenteen läpi suotautuvat hulevedet eivät saa jäädä ratarakenteisiin routimisen vuoksi. Rakenteessa oleva vapaa vesi on yksi routimisen edellytyksistä. [57] Routa aiheuttaa rakenteen painumia sekä mahdollisia muutoksia raidegeometriassa, mikä ei ole sallittua raitiotielinjoilla. [50]

Viherratojen kuivatusratkaisut koostuvat hyvin vettä läpäisevistä rakennekerroksista, salaojitusrakenteista, pohjamaahan ja vettä läpäisemättömiin pintoihin rakennettavista kallistuksista sekä kiintolaattaratkaisuihin erilaisista kiintolaattaan tehtävistä rakenteellisista ratkaisuksista. Ratarakenteiden sitomattomat rakennekerrokset rakennetaan routimattomasta materiaalista, jotka läpäisevät hyvin vettä. Rakenteiden läpi suotautuvat hulevedet johdetaan salaojarakenteisiin, johon kuuluvat erilaiset salaojaputkitukset tarkastuskaivoineen. Päällys- ja alusrakenteiden alla on yleensä rakennekerroksia huonommin vettä läpäisevä pohjamaa, jonka vuoksi pohjamaan yläpinta kallistetaan kohti rakenteen vettä pois johdattavia rakenteita eli yleensä kohti syväsalaojia. [24]

Viherratojen kuivatusratkaisuihin tulee kiinnittää erityistä huomiota, varsinkin jos viheradan rakenteellinen ratkaisu perustuu raiteen tai ratojen alla olevaan kiintolaattaan. Muiden raitiotietyyppien pintamateriaalina ei ole vettä läpäisevä pintamateriaali, jonka vuoksi niiden kiintolaattaratkaisuihin ei tarvita niin massiivisia erillisiä kuivatusratkaisuja. Viherradan kiintolaatan pituuskaltevuudella sekä mahdollisella poikkikaltevuudella on myös kuivatustekninen näkökulma, koska kaltevat laatan pinnat johtavat vettä. Yksistään raitiotierakenteen kiintolaatan kaltevuuksilla viherratojen kuivatusta ei voida ratkaista. Laatan päällä kulkeva kasvualustojen läpi suotautuva vesi tulee johtaa pois laatan päältä tasaisin välein. Euroopassa tämä on ratkaistu usein rakentamalla kiintolaatan keskelle erimuotoisia ja erikokoisia aukkoja noin 2-10 metrin välein. Nämä kiintolaattaan rakennetut aukot täytetään hyvin vettä läpäisevällä materiaalilla, jolloin vesi pääsee kulkeutumaan alempien rakennekerroksien kautta salaojarakenteisiin. [24]

Yhtenäisten kiintolaatallisten raitiotierakenteiden kuivatusratkaisujen suunnittelussa voidaan ottaa mallia viherkattojen kuivatusratkaisusta. Molemmissa tapauksissa kasvualustan alla on vettä läpäisemätön betonipinta. Rakenteissa on kuitenkin eroavaisuuksia, joten viherkattojen kuivatusratkaisuja ei ole asianmukaista käyttää sellaisenaan viherradoissa. Viherradan kiintolaattarakenne on kuitenkin maakosketuksessa ja laatta on leveyssuunnassa suhteellisen pieni verrattuna laatan pituuteen. Viherkattojen kuivatusohjeista viheradan kuivatuksessa hyödynnettäviä suosituksia ovat minimikaltevuudet ja käytettävät

minimiputkikoot. Vuonna 2015 laadituissa viherkattojen RT -korteissa kattojen minimikaltevuudeksi määritellään 1,3 % kaltevuus. Tämä kaltevuus ehkäisee kasvualustan liiallista vettymistä ja vähentää kasvualustassa seisovan veden määrää. Kuivatusrakenteiden putkien minimihalkaisijaksi on määritelty 100 millimetriä. [62]

## 2.4 Kasvualusta

Kasvillisuuden menestymisen kannalta kasvualustakerroksen paksuus on yksi ratkaisevimmista tekijöistä viherradan rakenneratkaisussa. Paksumpi kasvualusta toimii suurempana vesi- ja ravinnevarastona sekä mahdollistaa suuremman juurikasvuston. Viherradassa kasvualustatila on aina rajallinen ja kasvillisuuden juuristo kehittyy aina käytettävissä olevan tilan mukaan. Yleisesti voidaan todeta, että viherradassa kasvualustalla täytetään kaikki ratarakenteen päällä oleva mahdollinen tila. Viherradalla käytettävät kasvualustat ovat aina kivennäisaineen ja orgaanisen aineksen sekoituksia, johon on lisätty mahdollisia kasvualustan ominaisuuksia parantavia lisäaineita. Viherradan kasvualustalle on luotu suosituksia Saksassa, jotka on esitetty taulukossa 4. [24] Näitä suosituksia voidaan hyödyntää myös muiden maiden viherradan kasvualustoja suunnitellessa. Luodut suositukset ovat erilaiset viherradan kasvillisuudesta riippuen. Luodut suositukset ovat suuntaa antavia ohjeistoja, jonka vuoksi suositukset ovat paikoin hyvin vajavaisia tai ohjeistojen skaala on laaja.

**Taulukko 4.** Viherradan kasvualustalle luodut suositukset kasvillisuustyyppin mukaan [24]

Parametri	Yksikkö	Nurmikkopinta	Maksaruohopinta
Raekokojakauma:			
> 8 mm	massa- %	0	
2-8 mm	massa- %	< 20	
0,063-2 mm	massa- %	70-90, karkeaa hiekkaa 40	
> 4 mm	massa- %		< 75
< 0,063 mm	massa- %	5-15	< 10
Huokostilavuus	tilavuus- %	40-50	
Vedenläpäisevyys	m/s	$0,3 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$
Maksimi vedenpidättyvyys	tilavuus- %	> 30	20-65
Humuspitoisuus	massa- %	5-8	
pH		5,5-7,5	6,0-8,5

Viherradan kasvuolosuhteita voidaan jossain määrin verrata viherkattorakenteiden kasvuolosuhteisiin, koska molemmissa kasvualustatilavuus on rajallinen ja molemmista rakenteista puuttuu pohjamaayhteys. Viherkattojen yhteydessä on huomattu, että kasvualustakerroksen paksuus ei ole ainut taakkestävään kasvustoon. Laadukkailla ja kohteen

ominaisuudet huomioonottavilla projektikohtaisilla kasvualustatuotteilla voidaan kompensoida ohuemman kasvualustan aiheuttamia heikompia kasvuolosuhteita. [30] Viherradan kasvualustaan kohdistuu muihin kasvualustoihin kohdistumattomia voimia. Näitä ovat muun muassa raitiotieliikenteen aiheuttama värinä, joka saattaa tiivistää käyttökohteeseen sopimatonta kasvualustaa liiaksi. Viherradan kasvualustaan voidaan asentaa erilaisia raitiotieliikenteen vaatimia teknisiä järjestelmiä tai viherradan kastelujärjestelmä. [24]

Kasvualustatuotteita suunniteltaessa tulee huomioida kohteen maantieteellinen sijainti sekä paikalliset ilmasto-olosuhteet. Esimerkiksi Dublinissa ilmasto on kostea ja vuosittaiset sademäärät huomattavasti suuremmat kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa. Tämän vuoksi muihin maihin verrattuna Dublinissa kasvualustalta vaaditaan suurempaa vedenläpäisevyyttä. [38] Ilmasto-olosuhteilta kuivemmissa viherratakaupungeissa kasvualustan vedenpidättyvyysominaisuus nousee tärkeään rooliin, jotta kastelun tarve olisi mahdollisimman vähäinen. [24] Kasvualustan yleisistä ominaisuuksista sekä niiden vaikutuksesta kasvillisuuden kasvuun on käsitelty enemmän tämän työn kappaleessa 3.

Viherradan kasvualustaa suunnitellessa tulee huomioida myös mahdollinen viherradan muu liikenteellinen käyttö. Joissain tapauksissa viherrataa saatetaan käyttää esimerkiksi pelastusajoneuvojen reittinä. Viherradassa yleisesti käytettävillä kasvualustamateriaaleilla kantavuusominaisuudet ovat niin pienet, etteivät ne mahdollista raskaiden kulku-ajoneuvojen liikennettä. Raskas pelastusajoneuvoliikenne muodostaa kasvualustaan suuret painumat sekä pilaa nurmipinnan. Tämän kaltaisissa tilanteissa käytetään usein nurmiki-viratkaisua, jossa viherradan pintana käytetään reikäistä kiveystä. [1] Kiveys asennetaan sitomattomien rakennekerrosten tai mikrokantavan kasvualustan päälle. Kiveyksen reiät täytetään normaalilla kasvualustalla ja nurmikko pääsee kasvamaan rakenteen pinnassa kiveyksen reikien kautta. [60]

## **2.5 Kasvillisuus ja kasvillisuudelta vaadittavat ominaisuudet**

Viherradan kasvillisuutena käytetään pääasiallisesti erilaisia nurmikon laji- ja lajikesekoituksia tai maksaruohoa. Erilaisten niittymäisten kukkien käyttöä viherradoissa on käytössä jonkin verran, mutta niiden käyttö on vähäistä haasteellisten kasvuolosuhteiden vuoksi. Viherradassa kasvillisuus joutuu selviytymään muille viheralueille tuntemattomissa olosuhteissa. Viherradassa kasvillisuus on aina ratarakenteiden päällä, jolloin kosketusta pohjamaahan ei ole. [24] Pohjamaayhteyden puutteen vuoksi rakennetta voidaan osittain verrata viherkattoihin. Viherradan rakenne eroaa viherkattorakenteista yksinkertaisimmilla rakennekerroksilla sekä kasvualustakerrospaksuuksilla. Ratarakenteiden vuoksi viherradan kasvualustapaksuus jää usein matalammaksi kuin intensiivisissä viherkatoissa. Viherkattojen kasvualustat pyritään tekemään mahdollisimman kevyiksi kattorakenteiden kantavuusrajojen mukaisesti. Lisäksi viherkatoissa kasvillisuuden alla olevat

kattorakenteet ja niiden suojaus ovat tärkeässä asemassa. [66] Viherradoilla ei ole samankaltaisia kasvualustan keveysvaatimusta tai kiintolaatan suojaustarvetta kuin viherkaistoilla.

Viherradassa kasvillisuus joutuu kasvamaan omanlaisessa mikroympäristössä ja sietämään monia raitiotieliikenteestä aiheutuvia ulkoisia kuormituksia. Raitiotieliikenteestä aiheutuu kasvillisuudelle tuulikuorma aina, kun raitiovaunu ylittää kasvillisuuden. Tuulikuormalla tarkoitetaan liikenteestä aiheutuvaa, hetkittäistä ja paikallista tuulisuutta. Raitiotieliikennettä käytetään tehokkailla joukkoliikennereiteillä ja tämän vuoksi tuulikuormitus on usein toistuvaa. Lisäksi raitiovaunujen moottorit sijaitsevat vaunun lattian alla eli hyvin lähellä kasvillisuutta. Jokaisella ylityskerralla kuumat moottorit aiheuttavat kasvillisuudelle hetkellisen kuumuusaallon. Suurimman haasteen kuumat moottorit luovat kasvillisuuspinnoilla pysäkkialueilla, joissa raitiotievaunut ovat pysähdyksissä. [24]

Viherradassa kasvillisuutta ei saa päästä kasvamaan niin pitkäksi, että se osuisi kiskoon. Kiskoon osuva kasvillisuus saattaa aiheuttaa ongelmia hajavirtojen hallinnassa. [14] Liian pitkäksi pääsevä nurmikko ja sen leikkuusta syntyvä leikkuujäte saattaisivat pitkän ajan saatossa muodostaa kiskojen reunoilla olevien eristeiden päälle sekä eristeiden ja kiskon väliin maatunutta orgaanista-ainesta, jolloin nurmikko voisi levittäytyä kasvamaan kiskon viereen aiheuttaen hajavirtojen pääsyn maaperään. Kasvualustat ovat humuspitoisia ja muihin materiaaleihin verrattuna niiden kosteus on suuri, joten hajavirrat kulkeutuisivat kosteassa kasvualustassa suhteellisen hyvin. [39] Nurmikon enimmäispituus on riippuvainen käytetyistä kiskoprofilista ja hajavirtojen eristyslementeistä.

Viherradan kasvillisuutta suunnitellessa tulee huomioida paikalliset ilmasto-olosuhteet. Kasvillisuutena tulee käyttää paikallisesti ja maakohtaisesti testattuja ja tutkittuja kasvilajikkeita. Näistä kasvilajikkeista valitaan viherradan erityispiirteitä, eli tuulikuormaa, kuivuutta ja matalaan leikkuuta, parhaiten kestävät lajikkeet. Suomen olosuhteissa myös kasvillisuuden talvenkestävyydellä on suuri merkitys. [49] Suomessa normaaleilla viheralueilla kasvillisuutta suojaa talvisin lumikerros. Viherradassa kyseinen suojaava lumikerros on hyvin ohut raitiotievaunuliikenteen vuoksi. Suurilla lumimäärillä lumia harjataan ja aurataan pois raitiotieliikenteen kulkemisen mahdollistamiseksi. [50]

Nurmiraadalla nurmikkona käytetään siirtonurmea tai paikalla kylvettäviä erilaisia nurmiksiemenseoksia. Nurmikosta halutaan mahdollisimman kestävä ja sopeutuva edellä mainittuihin viherradan olosuhteisiin. Siemenseoksissa käytetään useita lajeja sekä lajin eri lajikkeita, jotta lopputulos olisi mahdollisimman monipuolinen. Nurmiraadan olosuhteet sekä maantieteellinen sijainti vaikuttavat paljon siemenseoksissa käytettäviin lajikkeisiin. [24] Tämän vuoksi esimerkiksi Keski-Euroopassa käytettäviä nurmiraadan siemenseoksia ei voida suoraan sellaisenaan käyttää Suomessa.

Nurmiraataa on käytetty paljon Keski-Euroopassa. Sieltä saatujen käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että nurmiraadan hyvän ja tasaisen kasvun edellyttämät hoitotoimenpiteet

ovat hyvin paikkakohtaisia. Esimerkiksi Saksassa pitkän kuivuusjakson aikana kaksi nurmirataa, joiden etäisyys toisistaan oli ainoastaan muutamia kilometrejä vaativat täysin poikkeavat hoitotoimenpiteet. Toisessa kohteessa nurmirata vaati toistuvia kastelukertoja, kun toinen nurmirata alue pysyi vehreänä ilman kastelua. [3] Tämän perusteella voidaan todeta, että kasvualusta- ja kasvillisuusvalinnoilla voidaan vaikuttaa suuresti nurmiradalla tarvittaviin hoitotoimenpiteisiin. Tämän kaltaiset kokemukset tukevat ajatusta koerakenteiden rakentamisesta ennen lopullisia kasvillisuus- ja kasvualustavalintoja. Tällöin on mahdollista saada arvokasta tietoa paikallisista kasvuolosuhteista sekä kohteeseen sopivista kasvualusta- ja nurmikkolaaduista. Lisäksi koerakenteista saadaan monipuolista lähtötietoa nurmiradan hoidon ja kunnossapidon suunnitteluun.

### 3. KASVUALUSTAT JA NURMIKON JUURISTO-KEHITYS

Kasvualustan tehtävänä on tarjota kasvillisuudelle optimaalinen kasvuympäristö. Kasvualustalla on useita ominaisuuksia, jotka voidaan jakaa fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Nämä yhdessä vaikuttavat kasvien kasvuun ja ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Kasvualustan fysikaalisiin ominaisuuksiin luetaan kuuluvaksi kasvualustan rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä, kuten rakeisuus ja ominaispinta-ala. Kasvualustan kemiallisia ominaisuuksia ovat muun muassa kasvualustan ravinnepitoisuudet ja pH. Kasvualustan biologisia ominaisuuksia ovat kasvualustan orgaanisen aineksen ja kasvualustan mikrobiston toimintaan liittyvät suureet, kuten orgaanisen aineksen maatuneisuus ja mineralisoituminen. Kasvualustat koostuvat epäorgaanisesta kivennäisaineksesta, orgaanisesta eloperäisestä aineksesta, muista kasvualustalta vaadittavia ominaisuuksia parantavista aineista, kuten lannoitteista tai polymeereistä, sekä tyhjätalasta. Nykyään ammattimaisessa viherrakentamisessa käytetään tuotteistettuja kasvualustoja, jotka voivat olla valmiita markkinoilla olevia tuotteita tai projektikohtaisia erikoiseseoksia. [6] Seuraavissa kappaleissa käsitellään tarkemmin kasvualustan koostumusta, kasvualustalta vaadittavia fysikaalisia ominaisuuksia, kasvualustan vesitaseeseen vaikuttavia tekijöitä sekä nurmikkokasvillisuuden juuriston kasvua ja kehitystä.

#### 3.1 Kasvualusta ja sen koostumus

##### 3.1.1 Kivennäismaa

Kivennäismaa muodostaa kasvualustan rungon. Kivennäismaa on lähes kokonaan kivennäisaineksesta koostuva maalaji. Kivennäismaita ovat savi, siltti, hiekka ja sora. Kivennäismaalajeista savi ja siltti luetaan kuuluvaksi hienorakeisiin maalajeihin. Hiekka ja sora ovat karkearakeisia maalajeja. [57] Yleisimmät kivennäisaineet kasvualustassa ovat savi, hiekka sekä erikokoiset sora- ja sepelijakeet. Kalliomurskeen käyttö on yleistä kantavissa kasvualustoissa. [40] Kivennäismaa-aineksien avulla voidaan vaikuttaa kasvualustan fysikaalisiin ominaisuuksiin, joista merkittävimpiä ovat kasvualustan huokoisuus, ominaispinta-ala sekä vedenpidätys ja -läpäisykyky. [30]

Muissa maissa kasvualustoissa käytetään myös vulkaanisia kivennäismaa-aineksia, kuten laavakiveä. Laavakivellä on kasvualustan fysikaalisiin ominaisuuksiin positiivisesti vaikuttavia ominaisuuksia, kuten suuri huokostilavuus. Kasvualustoissa pyritään käyttämään mahdollisimman läheltä saatavia raaka-aineita, jonka vuoksi vulkaanista kiviainesta ei juurikaan käytetä Suomessa. Vulkaanisia tuotteita käytetään ainoastaan kasvualustoissa maanparannusaineena, jolloin käytettävät määrät ovat pieniä. Tämän kaltaisia Suomessa



käytettäviä maanparannusaineita ovat perliitti ja vermikuliitti. Myös leca-soraa käytetään kasvualustoissa korvaamaan kivennäismaalajeja. [64]

Ympäristönäkökohdat ovat vahvasti esillä kasvualustojen valmistamisessa. Tämän vuoksi kasvualustojen kivennäismaamateriaaleille etsitään korvaavia tuotteita muun muassa teollisuuden sivutuotteista, kuten rakeistetuista voimalaitosten tuhkista ja jätemateriaaleista, kuten murskatusta betonijätteestä. [49] Myös kivennäismateriaalien kierrätyksellä voidaan vähentää kasvualustojen ympäristövaikutuksia. Kivennäismateriaalien ja kivennäismateriaaleista tehtyjen maanparannusaineiden ominaisuudet eivät muutu kierrätettäessä. [17] Kierrättämisen käytännön toteutus on kuitenkin haastavaa, eikä se ole tällä hetkellä kustannustehokasta.

Kivennäismaalajien raekokojakaumalla on suuri merkitys kasvualustan ominaisuuksiin. Raekokojakaumaa kuvataan rakeisuuskäyrien avulla. Yleisimpiä rakeisuuskäyrän määrittelymenetelmiä ovat kuiva- tai pesuseulonta. Kasvualustatuotteiden rakeisuuden määrittämiseen käytetään Suomessa yleisesti pesuseulontaa. [64] Rakeisuuskäyrän avulla voidaan päätellä materiaalin soveltuvuutta erilaisiin käyttökohteisiin. Kasvualustassa fyysisiä ominaisuuksia määrittäviä määreitä ovat erityisesti materiaalin keskiläpimitta, rakeisuusväli ja raekokosuhde sekä hienoaineksen määrä. [30] Rakeiden keskiläpimitta ( $d_{50}$ ) on rakeisuuskäyrällä läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko, joka määrittää myös maalajin nimen. Materiaalin raekokosuhteella tarkoitetaan maan läpäisyprosentteja 60 ja 10 vastaavien raeläpimittojen suhdetta. Mikäli näiden suhde on alle 5 on materiaali tasarakeista. Materiaalin sanotaan olevan sekarakeista, kun raekokosuhde vaihtelee 5 ja 15 välillä. Yli 15 raekokosuhteilla materiaalin sanotaan olevan suhteistunut. Hienoaineksena pidetään kiviainesmateriaalia, jonka raekoko on alle 0,063 mm. [57]

### 3.1.2 Orgaaninen aines

Eloperäisellä eli orgaanisella aineksella vaikutetaan pääosin kasvualustan kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin, mutta sillä on vaikutusta myös muutamiin fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten kasvualustan vedenpidätyskykyyn. [6] Orgaanisen aines koostuu humuksesta, joka on pitkälle maatunutta orgaanista ainesta sekä muusta orgaanisesta aineksesta. [54] Humus on erittäin huokoinen ja ominaispinta-alaltaan suuri materiaali, joka selittää materiaalin vedenpidätyskykyä parantavat ominaisuudet. Orgaaninen aines sisältää ja sitoo kasvualustan ravinteita sekä antaa elinympäristön kasvualustan biologiselle toiminnalle. Orgaanisella aineksella ei ole juurikaan kantavuusominaisuuksia. Tämän vuoksi orgaanisen aineksen optimaalisella määrällä kasvualustassa on suuri merkitys. [30] Suomessa orgaanisena aineksena kasvualustoissa käytetään erilaisia kompostoinnin lopputuotteita, turvetta ja puuhaketta. [64] Orgaanisen aineksen määrä kasvualustaseoksessa riippuu kasvualustan käyttökohteesta sekä kasvualustasta käytettävästä kivennäismaamateriaalista. Mitä hienompaa kivennäismateriaalia, sitä pienempi on käytettävän orgaanisen aineksen määrä. [41]

Orgaanisen aineksen raaka-aineella ja sen koostumuksella on vaikutusta orgaanisen aineksen ominaisuuksiin. Esimerkiksi murskatulla kuorihakkeella ja -katteella on pienempi vaikutus vedenpidätyskykyyn kuin turpeella. [46] Yleisin kasvualustoissa käytetty orgaaninen aine on turve, jota käytetään viheralalla 11 miljoonaa tonnia vuodessa. [69] Turpeen käyttöä kasvualustoissa pyritään vähentämään ja turpeelle pyritään löytää korvaavia tuotteita. Kompostituotteiden käyttö kasvualustoissa on yleistymässä sen ekologisuuden ja hyvien ravinnepitoisuuksien vuoksi. Kompostoidut materiaalit ovat yleensä hienojakoisempia kuin turve ja näin ollen sillä on suurempi vedenpidätyskyky kuin turpeella. Lisäksi komposti parantaa maan mikrobiologisia ominaisuuksia. [41] Suomessa turvepohjaisia kasvualustoja käytetään pääasiassa kasvihuoneiden kasvualustoissa. Viheralueiden ja nurmikoiden kasvualustoissa orgaanisena aineksena Suomessa käytetään pääosin kompostia. Viherkattojen kasvualustoissa käytetään kompostin ja turpeen lisäksi jonkin verran eri puiden haketta ja kuorikatetta. [25]

Uutena orgaanisena aineksena kasvualustoissa on biohiili [12]. Biohiiltä tuotetaan pyrolyysin avulla polttamalla raaka-ainetta 300-500 asteen lämpötilassa. Suomessa biohiilen raaka-aineena käytetään puuta [77]. Maailmalla biohiilen raaka-aineena ainakin tutkimustasolla on käytetty myös biojätettä sekä erilaisten puutuotantolaitosten sivutuotevirtoja. [48] Biohiilen hiilipitoisuus on noin 90 % ja hehkutushäviö 96 %, kun raaka-aineena on käytetty puulastua. [69] Biohiilestä toivotaankin turpeen korvaajaa kasvualustoissa. Tutkimuksen valossa osaa turpeesta voidaan korvata biohiilellä. [48] Biohiilellä voitaisiin korvata myös ympäristöä enemmän kuormittavat vermikuliitti ja perliitti, sillä biohiilen kantavuusominaisuudet ovat paremmat kuin turpeella tai kompostilla. [37]

Tutkimusten mukaan biohiili kasvattaa kasvualustan huokostilavuutta, vähentää typen ja fosforin pois huuhtoutumista sekä parantaa kasvualustan vedenpidätyskykyä, kuten muutkin kasvualustan orgaaniset ainesosat. [37] Tutkimuksen mukaan turpeella on suurempi vedenpidätyskyky kuin turve-biohiiliseoksella. Toisaalta taas biohiilen sekoittaminen kookoskuorta sisältävään kasvualustaan parantaa kasvualustan vedenpidätyskykyä 10 % ja 15 %, kun kasvualustaan lisättiin biohiiltä 20 % ja 35 %. [78] Suomessa biohiilen käyttö kasvualustoissa jakaa mielipiteitä. [25, 49, 51, 77] Tukholmassa biohiilen käytöstä on hyviä kokemuksia kaupungin viheralueilla. Tukholman kaupunki käyttää nurmikoiden ja katupuiden kasvualustana sepelin, kompostin ja biohiilen seosta. [12] Suomessa biohiilen käyttö vähäistä. Biohiiltä sisältäviä kasvualustakokeiluja ja -kohteita tulee kuitenkin vuosittain enemmän. Biohiili on Suomessa suhteellisen kallista verrattuna muihin käytettäviin orgaanisiin aineksiin, kuten turpeeseen ja kompostiin.

Biohiilen raaka-aineella ja polttoprosessin lämpötilalla on suuri merkitys biohiilen ominaisuuksiin. Esimerkiksi oliivimylyjen jätteestä tehdyn biohiilen vedenpidätyskykyarvot ovat tutkimuksen mukaan paremmat kuin metsäjätepuusta tehdyn. [16] Tehdyn tutkimuksen mukaan biohiilen ioninvaihtokapasiteetti vaihtelee 0,03-0,67 mol/kg välillä, pH 5,8-10,9 välillä ja ominaispinta-ala 21-401 m<sup>2</sup>/g. [44] Yli 500 asteen polttolämpötilalla saa-

vutetaan biohiilelle suurempi huokoisuus ja ominaispinta-ala, mitkä ovat teoreettiset edellytykset parempaan vedenpidätyskykyyn. [37] Biohiili ravinteiden sitoutumisesta kasvualustaan ei saatu näyttöä Suomessa viherkatoille tehdyssä tutkimuksessa. [47] Biohiilen vaikutukset saatuihin satomääriin ovat kasvikohtaiset. Salaattikasvillisuuden tuottama biomassa on suurempaa biohiiltä sisältävissä turvepohjaisissa kasvualustoissa pelkkään turpeeseen verrattuna. [78] Auringonkukilla biohiili kasvualustassa ei lisännyt kasvua. [69]

### 3.1.3 Lannoitteet ja polymeerit

Tuotteistetuissa kasvualustoissa on tuotannon aikana kasvualustaan sekoitettu lannoiteaineita. Lannoite- ja ravinmäärät riippuvat kasvualustan käyttökohteesta. Nurmikoille suunnitelluissa kasvualustoissa suositaan pitkävaikutteisia ja hitaasti liukenevia lannoitteita, jotka vähentävät kastelun yhteydessä tehtävää lannoitustarvetta. [51] Tuotteistettujen kasvialustatuotteiden tuoteselosteissa on kerrottu kasvialustassa olevan typin, fosforin ja kaliumin määrä. Suomessa Viherympäristöliitto on määritellyt kasvialustoille suositeltavat ravinnepitoisuudet käytettävän kasvillisuuden mukaan. [36]

Joissain tapauksissa tuotteistetuissa kasvialustoissa käytetään kasvialustan ominaisuuksia parantavia polymeerejä tai maanparannusaineita. Suomessa käytetyimpiä maanparannusaineita ovat polymeerirakeet, jotka imevät itseensä vettä jopa 200 kertaa painonsa verran. Maailmalla on olemassa useita eri maanparannuspolymeerejä [28]. Suomessa maanparannuspolymeereistä käytetään ainoastaan TerraCottemia®. [25] TerraCottem® on professori Willem Van Cotthemmin Belgian Ghentin yliopistossa kehittämä yli 20 ainesosasta koostuva maanparannuspolymeeri. TerraCottem® sisältää hitaasti liukenevia NPK -ravinteita, vulkaanista laavakiveä ja imukykyisiä polymeerejä. Polymeerit aktivoituvat kasteltaessa ja varastoivat vettä. Osa kasvin juurikanavista kasvaa polymeerirakeiden sisään, joka mahdollistaa veden luovuttamisen kasvin käyttöön kuivina ajanjaksoina. Materiaalin vulkaaninen kiviaines pitää maan rakenteen kuohkeampana, joka parantaa juurien ja kasvialustan mikrobiston elinolosuhteita. Valmistajan tietojen mukaan TerraCottem® pidättää vettä ja ravinteita, kasvattaa kasvien biomassaa, lisää kasvialustan biologista aktiiviteettia, lisää ja ohjaa juurten kasvua sekä vähentää kastelun ja lannoittamisen tarvetta. [73] TerraCottemin® käyttömäärä riippuu käytettävästä kohteesta. Suomessa suositeltu TerraCottemin® määrä viheralueiden kasvialustaan sekoitettuna on 500-600 g/m<sup>3</sup> ja sitä käytetään enimmäkseen projektikohtaisissa kasvialustatuotteissa. [77]

Tutkimusten perusteella TerraCottem® lisää kasvillisuuden biomassaa ja kasvattaa saatua satoa. [32, 63, 65] Eräässä tutkimuksessa biopolttoaineena käytetyn öljyjatropapuu lehden pinta-ala kasvoi 60 cm<sup>2</sup> suuremmiksi TerraCottemia® sisältävässä kasvialustassa kuin ilman TerraCottemin® vaikutusta kasvanut verrokkinäyte. [63] TerraCottemin® vaikutusta tomaattien kasvuun ja sadon määrään on tutkittu Intiassa, jossa TerraCottemia®

sisältävän kasvualustan kasvusto oli terveempää, kasvoi nopeammin ja sato oli suurempi kuin TerraCottemia® sisältämättömän kasvualustan. [73]

TerraCottemin® vettä pidättävän vaikutuksen on todettu olevan parempi kasvualustassa, jossa on mukana orgaanista-ainesta kuin ainoastaan TerraCottemia® ja hiekkaa sisältävissä kasvualustoissa. [32] Tehtyjen tutkimusten mukaan myös TerraCottemin® annosmäärällä on vaikutusta etenkin vedenpidätyskykyyn sekä kasvualustan mikrobiston toimintaan. Hejduk tiimeineen tutki muun muassa TerraCottemin® vaikutusta hiekkaa, kompostia ja turvetta sisältävän kasvualustan vedenpidätyskykyyn. TerraCottemia® lisättiin kolmea eri määrää, 300 g/m<sup>3</sup>, 600 g/m<sup>3</sup> ja 900 g/m<sup>3</sup>, tutkittaviin kasvualustaseoksiin. Tulosten perusteella käytettävän TerraCottemin® määrä ei ole suoraa verrannollinen vedenpidätyskyvyn kasvuun. Tulosten mukaan 600 g/m<sup>3</sup> on vedenpidätyskyvyn lisäämisen kannalta optimaalinen käyttömäärä. [28]

Paluszek tiimeineen tutki TerraCottemin® vaikutusta kasvualustan vedenpidätyskykyyn ja kasvualustan huokoisuuteen. Tutkimuksen mukaan 2 g/kg annostuksella on paremmat vaikutukset vedenpidätyskykyyn ja kasvualustan huokoisuuteen kuin 1g/kg annoksella. Tutkimuksen mukaan kaikki polymeerien sitoma vesi ei ole kasville hyödynnettävässä muodossa. 2g/kg annos paransi kasvualustan vesikapasiteettia savisessa maassa -30 kPa potentiaalilla noin 40 %, josta kasvien hyödynnettävissä oli keskimäärin 30 %. Tehtyjen huokoisuusmittausten perusteella TerraCottem® lisää kasvualustassa olevien makrohuokosten (halkaisija 0,2-20 µm) määrää 0,015 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Mikrohuokosiin (halkaisija alle 0,2 µm) TerraCottemilla® ei ole vaikutusta. [53]

TerraCottemin® vaikutuksesta ravinteiden huuhtoutumisen estäjänä on tutkittu vähemmän kuin aineen vaikutusta kasvualustan vedenpidätyskykyyn. Dvorackovan tekemässä tutkimuksessa TerraCottemilla® ei olevan vaikutusta typen ja fosforin huuhtoutumiseen. Samassa tutkimuksessa huomattiin, että suurilla TerraCottem® annoksella, 1,5 kg/m<sup>3</sup>, on kasvualustan mikrobitoimintaa lamaannuttavia vaikutuksia. [9]

## 3.2 Kasvualustalta vaadittavat ominaisuudet

### 3.2.1 Yleiset ominaisuudet

Kasvualustat ja niiden ominaisuudet ovat monimutkainen ja monitieteellinen asiakokonaisuus, jonka kaikkia toimintaprosesseja ei tunneta. Monet kasvualustan ominaisuudet ja niiden vaikutukset kasvin kasvuun ovat selittämättömissä. Kasvualustan käyttökohde ja käytettävä kasvillisuus vaikuttavat kasvualustalta vaadittaviin ominaisuuksiin, kasvualustassa käytettäviin materiaaleihin ja niiden seossuhteisiin. Suuri osa kasvin kasvun ongelmista johtuu kasvualustasta ja sen epäedullisista ominaisuuksista. [6] Huonolaatuinen tai kohteeseen sopimaton kasvualusta lisää kohteen hoito- ja kunnossapitokustannuksia esimerkiksi lisääntyvän kastelun ja lannoituksen vuoksi. [41]

Kasvualustalla on useita eri tehtäviä. Kasvin juuristo sitoutuu kasvualustaan ja juuriston avulla kasvi saa kasvualustan kautta tarvitsemaansa vettä, happea ja ravinteita. Vesi on kasvun perusedellytys. Kasvi käyttää sitä yhteyttämiseen, hengitykseen ja ravinteiden kuljetukseen. Vedestä kasvi ottaa vetyä ja happea. Vesi kuljettaa kasvualustassa olevia ravinteita juurien kautta kasvin eri osiin. Veden avulla kasviin syntyy nestejäännitys, jonka avulla kasvi pysyy pystyssä. Jatkuva veden kulku mahdollistaa ravinteiden ja yhteyttämistuotteiden kuljettamisen kasvinosasta toiseen. [6] Kasvien ilmantarve on yhtä olennainen kuin vedentarve. Kasvualustassa happea tarvitaan juuristolle ja itäville siemenille soluhengitykseen sekä kasvualustassa eläville mikrobeille. Hapen puute pysäyttää juuren kasvun ja häiritsee ravinteiden ottoa sekä maan mikrobitoimintaa. [30] Hyvässä kasvualustassa on sateisenakin aikana vähintään 10 % ilmahuokosia [41]

Käytettävistä kasvualustamateriaaleista ei saa irrota kasveille tai ympäristölle haitallisia aineita. Materiaalien on oltava pitkäikäisiä ja niiden on kestävä erilaisista ilmasto-olosuhteista, kuten lämmönvaihteluja, kovaa pakkasta ja jäätymistä sekä sadeveden kemiallisia yhdisteitä. [66] Kasvualustamateriaaleilta vaaditaan myös tasalaatuisuutta. Kasvualustassa ei saa olla kerrostuneisuutta, sillä muutaman millin humus tai savikerros käyttäytyy ympäröivää maata nähden eri tavalla erityisesti keväällä ja syksyllä sulamis-paksumisjaksojen aikana. Kasvualustassa oleva kerrostuneisuus katkaisee kasvien juuria yöpakkasilla sekä estää veden ja ravinteiden normaalia kulkeutumista. [30]

### 3.2.2 Kasvualustan huokoisuus

Kasvualustan huokoisuudella on iso merkitys kasvualustassa olevan veden käyttäytymiseen ja ilmapitoisuuteen. Kokonaishuokostilavuuden lisäksi huokoskokojakaumalla on suuri merkitys kasvualustan toimivuuteen. Kasvualustan huokoisuus jaotellaan yleensä kolmiportaisella jaottelulla, jossa huokoset jaotellaan kokonsa mukaan gravitaatiovesihuokosiksi, kapillaarihuokosiksi ja adsorptiovesihuokosiksi. [6]

Gravitaatiovesihuokoset ovat halkaisijaltaan isoimmat. Gravitaatiovesihuokosia ovat kaikki yli 10 mikrometrin halkaisijaltaan olevat maahuokoset. Näissä huokosissa vesi kulkee gravitaatiovoiman vaikutuksesta ja veden suunta on alaspäin. Kasvualustan happi kulkeutuu gravitaatiohuokosissa. Täysin vedellä kyllästyneessä maassa gravitaatiohuokoset ovat täyttyneet vedellä, muissa tilanteissa vedellä sekä ilmalla. Gravitaatiovesihuokoset toimivat kasvien vesi- ja happivarastoina. Gravitaatioveden määrää kasvualustassa voidaan tutkia muun muassa vedenläpäisykykymittausten avulla. [30]

Kapillaarihuokosia ovat kaikki halkaisijaltaan 1-10 mikrometrin huokoset. Näissä huokosissa vesi liikkuu kapillaarivoimien avulla mahdollistaen veden kulun myös ylöspäin. Kasvualustassa käytettävien materiaalien huokoisuusominaisuudet vaikuttavat kapillaarihuokosten määrään. Kasvien kasvun kannalta kapillaarihuokosten määrä on tärkeässä asemassa, sillä niissä olosuhteissa, joissa gravitaatiovesihuokoset täyttyvät ilmalla, pysyy kasvit hyödyntämään juuristovyöhykkeeseen kapillaarivoimien avulla nousevaa

vettä. Kasvualustassa olevan kapillaarihuokosten määrää voidaan mitata muun muassa vedenpidätyskyvyn avulla. [30]

Halkaisijaltaan alle 1 mikrometrin huokosia sanotaan adsorptiohuokosiksi. Näissä huokosissa oleva vesi ei ole kasvien käytettävissä, sillä vesi on sitoutunut hyvin tiukasti huokosiin ja kivennäismaalajihiukkasten pinnalle. Huokosissa oleva vesi on kuitenkin tärkeä ravinteiden varasto, josta ne kulkeutuvat veden mukana kasvien käyttöön diffuusion avulla. [30]

### **3.2.3 Kasvualustan kantavuuteen vaikuttavat ominaisuudet ja kasvualustan tiiviys**

Kasvualustan kantavuus muodostuu rakeiden välisistä kosketuspinnnoista. Mitä pienempi raekoko ja rakeiden väliset kosketuspinnat, sitä heikompi on rakenteen kantavuus. Kasvualustassa käytettävä kivennäismaamateriaali luo kasvualustan kantavuuden perustan. Tärkeimpiä kasvualustan kantavuusominaisuuksia määritteleviä kivennäismaamateriaalien ominaisuuksia ovat materiaalin hienoaineksen määrä sekä kivennäismateriaalin raekoko ja raekokosuhde. Kivennäisaineen rakeiden koolla on suuri vaikutus materiaalin kantavuuteen. Kasvualustalta vaadittava kantavuus määrittää osittain sen, mitä kivennäismaalajia kasvualustassa käytetään. Useimpien puistomaisten viheralueiden tai istutusten kasvualustoilta ei juurikaan vaadita kantavuutta, joten näissä kasvualustoissa käytetään hienorakeisia maa-aineksia, kuten savia ja silttiä. [6] Urheilunurmikoilta vaaditaan suurempaa kantavuutta ja kulutuskestävyyttä, joten niiden kasvualustoissa käytetään kivennäisaineksena hiekkaa. [41] Kohteissa, joissa vaaditaan ajoneuvoliikenteen aiheuttamia kuormituksia, kuten katupuiden kantavissa kasvualustoissa, kivennäisaineena käytetään raekooltaan 50-150 mm mursketta. [40]

Kasvualustan tiiviys vaikuttaa osaltaan kasvualustan kantavuuteen, mutta myös kasvin kasvumahdollisuuksiin. Mitä tiiviimpi rakenne, sen parempi kantavuus voidaan saavuttaa. Jokainen kasvualusta tiivistyy rakentamisen yhteydessä noin 15-25%. Hyvälaatuinen kasvualusta ei juurikaan tiivisty rakentamisen jälkeen. Tiivistyminen määrään vaikuttaa kasvualustassa käytetty kivennäismateriaalin raekoko, käytettävä orgaaninen aines ja näiden sekoitussuhde. [30]

Käytetyn kivennäismaan raekoko vaikuttaa kasvualustan tiiviyyteen. Karkearakeisia maalajeja käytettäessä rakeiden väliset huokospinta-alat jäävät suuremmiksi. Liiallinen hienoaineksen ja orgaanisen aineksen määrä tukkii kasvualustan huokosrakenteen, jolloin huokosten määrä ja veden läpäisy hidastuu. [41] Orgaanisesta aineesta turve tiivistyy kompostia enemmän. Turve-hiekka seokset tiivistyvät helposti liian tiiviiksi, jolloin kasvien kasvun edellytykset heikkenevät. [64]

Kasvualustan liiallinen tiivistyminen ei ole suotavaa. Liian tiiviissä kasvualustassa ei ole tilaa kasvin juurille, vedelle tai hapelle. Maan tiivistyessä erityisesti gravitaatiohuokosten

määrä vähenee, mikä heikentää kasvualustan happipitoisuutta. Liian tiiviissä kasvualustassa juuristo ei pääse tunkeutumaan kasvualustaan ja juuriston kasvu heikkenee. Tällöin kasvin veden- sekä ravinteidenottokyky heikkenee. Näissä tilanteissa juuristo kasvaa lähellä maan pintaa, jolloin kasvillisuus on alttiimpi esimerkiksi kuivuudelle. Maan tilavuuspainon kasvaessa juurten massa vähenee. Nurmikkoheinien juurten kasvun on havaittu vähenevän, kun maan tilavuuspaino on yli  $1,5 \text{ g/cm}^3$ . [2]

Tiiveimmilleenkin tiivistetyssä kasvualustassa on maarakeiden välissä olevaa tyhjätilaa, joka täyttyy vedellä, ilmalla ja kasvin juuristolla. Normaaaleissa ja optimaalisissa olosuhteissa tyhjätilassa on sekä vettä, että ilmaa. Kasvualustassa oleva mikrobisto ja juuristo käyttävät kasvualustan tyhjätilassa olevaa ilmaa. Täysin kyllästyneessä kasvualustassa koko tyhjätila on täyttynyt vedellä, jolloin hapensaanti juuristolle ja mikrobikannalle estyy. Mikäli kasvualustan täysin kyllästynyt tila on pitkäaikainen, heikentyy kasvin kasvu merkittävästi ja pahimmillaan se saattaa tappaa kasvillisuuden kokonaan. [64]

Tiivistyessään kasvualustan vedenläpäisevyys pienenee ja vesipitoisuus kasvualustassa kasvaa. Tämä muuttaa kasvualustassa olevan veden ja ilman suhdetta. Liiallisen tiivistymisen myötä kasvualustan ilma-vesi -suhde muuttuu kasvin kasvun kannalta epäedullisempaan suuntaan. Kasvustossa tämä näkyy ulkonäön heikkenemisenä sekä kasvuston harvenemisena. Toisaalta liian löyhässä kasvualustassa kasvillisuus ei pysty kiinnittyä juuriston avulla riittävästi kasvualustaan, joka myös vaikeuttaa kasvin kasvua. Liian löyhä kasvualusta tiivistyy aina ajan ja siihen kohdistuneiden kuormitusten seurauksena. [6]

### 3.2.4 Vedenläpäisevyys ja -pidätyskyky

Toimivimmillaan kasvualusta on silloin, kun se pidättää ja läpäisee vettä. Merkittävimmät kasvualustan vesitaseeseen vaikuttavat ominaisuudet ovat kasvualustan vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskykyominaisuudet. Kasvualustan vedenpidätyskykyominaisuudet mahdollistavat kasville veden saamisen juuriston kautta sekä vähentävät kasvillisuuden hoidon, kuten kastelun, tarvetta. Vedenläpäisevyysominaisuudet taas mahdollistavat liiallisen kastelu- ja huleveden poisjohtumisen kasvualustarakenteesta sekä estää kasvin juurten tukehtumisen. Molempiin ominaisuuksiin vaikuttavat muun muassa kivennäismaamateriaalin raekoko ja sen suhteistuneisuus, huokoisuus sekä kasvualustassa käytetty orgaaninen aines. [66]

Vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyvyn määrittämiseen on olemassa laboratoriokokeita, mutta suuntaa antavia tuloksia voidaan tehdä myös kasvualustamateriaalin rakeisuus-käyrää tutkimalla. Vedenläpäisevyys kasvaa hienoainemäärän pienentyessä ja vedenpidätyskyky kasvaa hienoainemäärän kasvaessa. Tasarakeiset materiaalit läpäisevät hyvin vettä, kun taas sekarakeiset ja suhteistuneet materiaalit tiivistyvät enemmän ja näin ollen niiden vedenläpäisevyys on pienempää. [64]

Kasvualustassa käytetyllä orgaanisella aineksella on vaikutusta kasvualustan vedenpidätyskykyyn ja vedenläpäisevyyteen. Nämä ominaisuudet selittyvät osittain eloperäisessä aineessa olevalla humuksella, jolla on maan vedenpidätyskykyä, mutta myös veden kulkua parantavia ominaisuuksia. Humus on erittäin huokoinen ja ominaispinta-alaltaan suuri materiaali, joten näin ollen se lisää kasvualustan huokostilaa. Humus lisää kasvualustassa erityisesti gravitaatio- ja koheesiohuokosten määrää. Gravitaatiohuokokset kuohkeuttavat maata sekä lisäävät vedenläpäisykykyä ja koheesiohuokokset kasvattavat vedenpidätyskykyä. Kasvualustassa oleva humus tasaa näin ollen kasvien veden- ja hapensaantia. [30]

Tutkimuksissa on huomattu, että materiaalin ominaispinta-alalla on vaikutus veden ja ravinteiden pidätyskykyyn. Esimerkiksi kompostin ominaispinta-ala on lähes 20 kertaa suurempi kuin turpeen, vaikka rakeisuudeltaan materiaalit ovat lähes samankaltaisia. Tehdyissä kasvualustatutkimuksissa kompostista ja hiekasta koostuvan kasvualustaseoksen vedenpidätyskyky on suurempi kuin turvetta ja hiekkaa sisältävän kasvualustaseoksen. [64]

Kasvualustan tiiviydellä on vaikutusta kasvualustan vedenläpäisevyyteen ja vedenpidätyskykyyn. Liian tiiviissä kasvualustassa suurin osa vedestä kulkeutuu pintavaluntana, eikä näin ollen imeydy kasvualustan juuristovyöhykkeeseen kasvillisuuden hyödynnettäväksi. [12] Tällöin kasvualustan merkitys sadevesiä pidättävänä ja suodattavana rakenteena menetetään. Liian karkearakeisessa kasvualustassa varsinkin gravitaatiohuokosten määrä on suuri, mikä lisää materiaalin vedenläpäisevyyttä. Tällöin kastelutarve lisääntyy, kun kosteus ei pysy kasvualustassa eikä tue kasvin kasvua. Liian huokoisessa kasvualustassa myös ravinteita huuhtoutuu pois hule- ja kasteluvesien mukana. [41] Ravinteiden huuhtoutumiseen vaikuttavat myös maan kaltevuudet, kasvualustakerroksen paksuus ja käytettävä kasvillisuus. [47]

### 3.3 Nurmikon juuristo ja sen kehitys

Kasvin juuristolla on 3-4 päätehtävää kasvusta riippuen. Kasvin juuret ottavat maasta vettä ja ravinteita kasvia varten, varastoivat vararavintoa ja ravinteita sekä ankkuroivat kasvin maahan. Lisäksi osa kasveista levittäytyy ja lisääntyy juurtensa avulla. Juuriston kasvu on monimutkainen ja suurilta osin tuntematon prosessi. Jotta juuristo pystyy toteuttamaan tehtäviensä, tulee sen olla jatkuvassa vuorovaikutuksessa kasvualustan kanssa. Tämän vuoksi kasvualustan ominaisuuksilla on suuri merkitys kasvin kasvun kannalta. [21] Merkittävin osa kasvualustassa vuorovaikutuksen kannalta on ritsosfääri, joka on se kasvualusta-ainesten pinta ja huokostila, jossa juurten vuorovaikutus mikrobien kanssa tapahtuu. [54]

Kasvin juuristolla on vaikutusta kasvualustan rakenteeseen. Kasvin juuret muodostavat kasvunsa kautta biohuokosia, jotka ovat vapaan veden kulkureittejä. Biohuokosten merkitys kasvualustassa kasvaa erityisesti tiiviissä ja hienojakoisissa kasvualustoissa, jossa



huokospinta-ala olisi muuten pientä. Biohuokokset ovat yksi maaperän ja kasvualustan mururakenteen muodostajista. [45]

Kasvin biomassasta noin puolet sijaitsee juurissa. Hoidettujen viheralueiden nurmikoilla tämä suhde on vielä suurempi, sillä maanpäällinen kasvusto pidetään lyhyenä, jolloin maanpäällisen biomassan osuus on pienempi. Eri kasvilajikkeilla on luontaisesti erilaiset juuristot. Kasvin juuristo pyrkii kasvamaan mahdollisimman energiatehokkaasti lajille ominaiseen muotoonsa. Kasvuolosuhteet saattavat kuitenkin muokata juuriston kasvua ja muotoa. [68] Nurmikkoheinien juuriston tulisi olla syvä ja haaroittunut, jotta kasvi saa tarvittavan määrän vettä ja ravinteita. Nurmikkokasveilla juuriston ikä vaihtelee muutamasta kuukaudesta pariin vuoteen. Monivuotiset kasvit kasvattavat juuristoa monena kasvukautena. Ensimmäisen kasvukauden aikana kasvaa kuitenkin suurin osa kasvin juuristosta. [42]

Viheralueilla käytettävien nurmikkolaatujen juuristoista on vähän tutkittua tietoa verrattuna rehunurmiin, muihin viljelykasveihin ja puihin. Tutkimuksen perusteella golfnurmen juuristosta 44-54 % sijaitsee 0-6 cm syvyydessä. [42] Monivuotiset nurmikkoheinien juuret voivat kasvaa jopa 20 cm syvyyteen. Juurien syvyys vaikuttaa kasvin vedensaan-tiin, sillä syvemmät juuret kasvulla on, sitä suuremmat vesivarastot sillä on käytettävänä. [21]

Juuret ovat paksumpia kuin kasvualustojen huokokset. Kappaleessa 3.3.2 on esitetty kasvualustan huokosten jaottelua. Juurten kasvu perustuu kasvupaineeseen. Kun juuren kasvupaine ylittää maan leikkauslujuuden, juuri voi kasvaa. Maan leikkauslujuus on siis voima, joka tarvitaan liikuttamaan maahiukkasia toisiinsa nähden. Juuri erittää juurili-maa, joka helpottaa juuren maahan tunkeutumista. Myös kasvualustassa oleva vesi edis-tää juurten kasvua. Kosteassa maassa juurten kasvu on suurempaa kuin kuivassa maassa, sillä kosteassa kasvualustassa juuret pystyvät siirtämään maapartikkeleita helpommin. [21]

Juuret ankkuroituvat maahan juurikarvojen avulla. Juuren kasvaessa uusi juuri ankkuroi-tuu läheisiin maapartikkeleihin. Juuren kärjessä on kasvupiste, jonka kautta kasvupaine kohdistuu maahan. Juurikarvojen ja maapartikkeleiden kiinnittymisen avulla kasvupaine voidaan kohdistaa kasvupisteeseen. Kasvupaine on suoraan verrannollinen juuren halkai-sijaan. Mitä paksumpi juuri, sen suurempi kasvupaine. Näin ollen tiiviin maan tai esteen kohdatessaan, kasvin juuri pyrkii paksuuntumaan, jotta se saisi lisää kasvupainetta. [2] Ohuiden juurten on todettu ottavan enemmän vettä ja sen mukana ravinteita kasvualus-tasta. [11]

Itämisen ihannelämpötila on 10-25 astetta, juuriston kasvun 10-18 astetta. Lehtiversojen ja juuriston kasvu ovat kytkeytyneenä toisiinsa. Lehtiversojen kasvu on riippuvainen juu-riston imemästä ja lehtiin työntämästä vedestä ja ravinteista. Juuriston kasvu taas on mah-

dollista vasta lehtien tuottamien hiilihydraattien kulkeuduttua juuristoon. [41] Hyvät kasvuolosuhteet kasvattavat juuriston biomassaa ja edesauttavat juuren kasvua. Hyviksi kasvuoloiksi tässä tapauksessa luetaan sopiva veden, ravinteiden ja valon määrä. Toisaalta taas usein niitettävät kasvit käyttävät kasvuun tarvittavia rakennusaineita uusien maanpäällisten osien kasvattamiseen jatkuvasti, jolloin juuriston kasvu heikkenee. [21]

Näin ollen kasvualusta, jossa on juuriston kasvulle optimaalinen, noin 15 %, vesipitoisuus sekä hyvä ravinne- ja happitaso edesauttaa juuriston kasvua. [41] Toisaalta kasvualustan huokosrakenteella on myös suuri merkitys kasvin ja juuriston kasvun kannalta. Mitä isoja tasarakeisempaa kivennäismateriaalia kasvualusta sisältää, sen paremmin kasvualustassa on isoja huokosia juurten kasvua varten. Toisaalta liian tasarakeisessa tai liian vähän orgaanista ainesta sisältävässä kasvualustassa ei ole tarttumapintaa juurikarvoille. Kasvualustan vedenpidätyskykyä voidaan parantaa esimerkiksi kasvualustaan sekoitettavien maanparannuspolymeerien avulla. [21]

## 4. SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT JA SUUNNITTELUPROSESSI

### 4.1 Nurmiraadan suunnitteluprosessin yleiset lähtökohdat

Nurmiraadan suunnittelussa tulee huomioida ratatekniset vaatimukset, suunnittelun reunaehdot sekä kaupunkikuvalliset vaatimukset. Ratateknisiin vaatimuksiin sisältyvät teknologiset, toiminnalliset ja raitiotieliikenteen turvallisuuden näkökohdat. Kaupunkisuunnitteluun kuuluvat kaupunkikuvallisten kokonaisuuksien muodostaminen sekä raitiotien integroiminen kaupunkikuvaan. Kaupunkikuvallisesti korkean tason kasvillisuustyyppi on parhain rakenteellinen ratkaisu. Parhain suunnittelutulos saavutetaan silloin, kun suunnittelun jokaisessa vaiheessa huomioidaan sekä kaupunkikuvalliset että ratatekniset asiat. [4]

Nurmikko raitiotien pintana luo myönteisen kaupunkikuvallisen ilmeen ja pehmentää raitiotien teknistä vaikutusta. Nurmiraata teknisenä rakenteena on kuitenkin muita raitiotietyyppirakenteita haastavampi toteuttaa. Perinteisissä rata- ja raitiotierakenteissa kasvillisuus ei ole sallittua. Nurmiraadassa tasainen ja rehevä kasvillisuus on se, mihin suunnittelussa pyritään. [5] Nurmiraadassa pintamateriaalina on elävä kasvillisuus, joka vaatii tietyt ominaisuudet kasvaakseen.

Vaikka nurmiraadalla on useita positiivisia vaikutuksia, tulee nurmiraadan käyttöä miettiä tarkoin ja toteuttaa se ainoastaan tarkoituksenmukaisissa tilanteissa. Esimerkiksi kapeilla raitiotieväylillä ja alueilla, joissa on tiheästi liittymiä, ei nurmiraadan käyttö ole suositeltavaa. Avoimet kaupunkitilat, herkät ja puistomaiset ympäristöt sekä vihreät laatuikätyvät ovat tarkoituksenmukaisia nurmiraadan käyttöpaikkoja. [4] Nurmiraata suunniteltaessa tulee myös huomioida, että jokainen nurmiraata vaatii muita raitiotierakenteita enemmän hoitotoimenpiteitä. Näiden suunnittelua tulisi toteuttaa jo yhtä aikaa nurmiraadan rakennetta suunniteltaessa. Huonosti hoidettu tai heikosti kasvava nurmikkokasvillisuus luo kuvaa laiminlyödyistä infrasta sekä luo negatiivista mielikuvaa raitiotieliikenteestä ympäristöystävällisenä joukkoliikennemuotona. [5]

Keski-Euroopassa on viher- ja nurmiraatakaupungeissa tehty tutkimuksia asukasviihtyvyydestä. Näiden tutkimusten perusteella voidaan todeta asukasviihtyvyyden kasvavan alueilla, joissa on viher- tai nurmiraata. Tämän vuoksi erityisesti Saksassa on vanhoja, jo rakennettuja raitiotien sepeliraideosuuksia muutettu nurmiraadoiksi. Myös uusissa raitiotiehankkeissa nurmiraadan osuus muihin raitiotierakenteisiin verrattuna on kasvussa. [5]

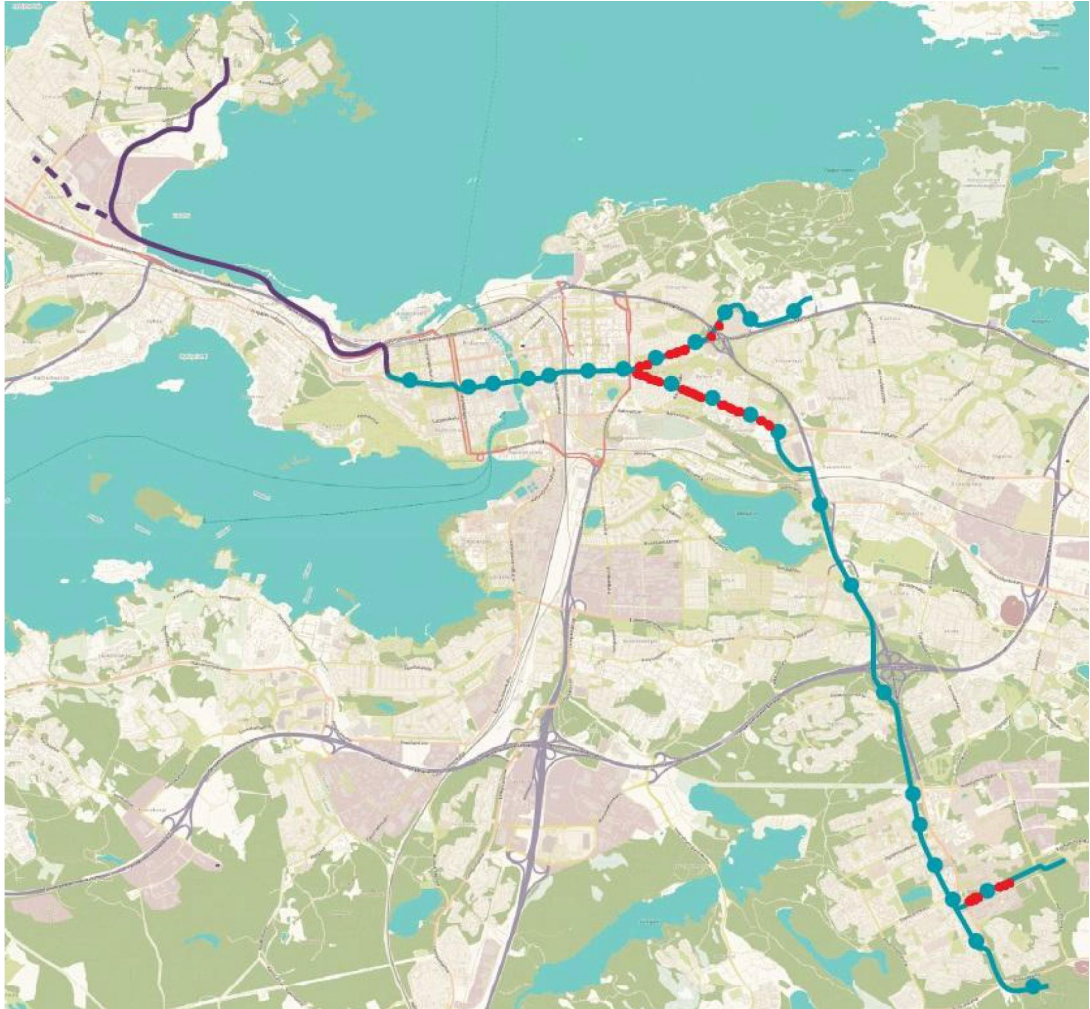
Nurmiraadan suunnittelussa on ollut kaksi lähtökohtaista suunnittelufilosofiaa. Nykyään enää vähemmän käytössä olevassa filosofiassa suunnitellaan ratarakenteet, jonka päälle

levitetään kasvualustakerros ja kylvetään kasvillisuuden siemenet. Tämä suunnittelufilosofia on suunnitteluprosessiltaan kevyempi, mutta lopputulos ei yleensä täytä hyvän nurmiradan laatukriteerejä. Toisessa suunnittelufilosofiassa, suunnittelussa kiinnitetään erityistä huomiota laadukkaaseen kasvualustatuotteeseen ja kasvualustakerroksen paksuuteen. Tämän kaltaisissa ratkaisuissa raiteet rakennetaan yleensä kiintolaattaperiaatteella sellaiseksi, jottei niitä tarvitse tukea jälkikäteen. Jälkimmäinen suunnittelufilosofia on nykyisissä nurmiradan suunnitteluprosesseissa huomattavasti yleisempi. [1]

## 4.2 Tampereen raitiotiehanke

Tampereen raitiotie toteutetaan allianssipohjaisena hankkeena, jonka tilaajaosapuolina ovat Tampereen kaupunki ja Tampereen Raitiotie Oy. VR Track Oy, YIT Rakennus Oy ja Pöyry Finland Oy toimivat allianssin palveluntuottajina. Raitiotien suunnittelu ja rakentaminen on jaettu kahteen osaan. Osa 1 sisältää radat Pyynikintorilta Hervantajärvelle ja yliopistolliselle keskussairaалalle sekä Hervantaan sijoittuvan varikon rakentamisen. Osa 2 käsittää radan Pyynikintorilta länteen Lielahden kautta Lentävänniemeen. Tässä työssä suunniteltavaa nurmiradan päällysrakennetta käytetään osan 1 nurmiradassa. Tampereen kaupunginvaltuusto on tehnyt osan 1 rakentamispäätöksen marraskuussa 2016. Osan 1 rakentaminen on aloitettu joulukuussa 2016 ja raitiotieliikenne osalla 1 alkaa vuonna 2021. [74]

Osalle 1 nurmirataa tulee noin 2,2 kilometriä jakautuen neljälle eri kadulle; Sammonkatu (1325 metriä), Teiskontie (560 metriä), Tekunkatu (160 metriä) ja Hermiankatu (175 metriä). Lisäksi nurmirataa saatetaan rakentaa osalle 1 Makkarajärven alueelle. Lopullista päätöstä ei oltu tehty tämän työn suunnittelun aikana. Suunniteltu nurmiradan päällysrakenne soveltuu käytettäväksi myös Makkarajärven alueelle. [50] Osan 2 mahdollisesta viherradasta ja sen päällysrakenteesta tehdään lopulliset päätökset myöhemmin osan 2 suunnittelun yhteydessä, mutta tästä työstä saatuja tuloksia saatetaan hyödyntää myös osan 2 suunnittelussa. Osat ja niiden reitit sekä osan 1 nurmiradan sijainnit on esitetty kuvassa 9. [74]



**Kuva 9.** Tampereen raitiotien reittikartta. Osa 1 on esitetty turkoosilla ja osa 2 violetilla. Nurmiraatoosuudet osalla 1 on merkitty karttaan punaisella. [74]

Osalla 1 rakennettavan raiteiston pituus on 15 km, joka toteutetaan käyttäen neljää erityyppistä raideratkaisua: kiintoraide omalla kaistallaan, kiintoraide sekaliikennekaistalla, nurmirata ja sepelirata. Kiintoraide omalla kaistallaan on urakiskollinen kiintolaattaratkaisu, jonka pintamateriaalina on kiveys tai asfaltti. Kiintoraide sekaliikennekaistalla on urakiskollinen, asfaltti- tai kiveyspintainen kiintolaatallinen rakennemalli, jossa autoliikenne kulkee samalla kaistalla yhdessä raitiovaunujen kanssa. Tätä rakennemallia käytetään lähes kaikilla liittymäalueilla sekä osalla kaduista. Sepelirataide on hankkeen ainut kokonaan pölkkyrakenteinen rakenne. Sepeliraitteella käytetään Vignole -kiskoprofiilia. [74]

Tässä työssä suunniteltava nurmirata on yksi sovellus kiintoraideratkaisusta. Osalla 1 nurmirataa käytetään niillä alueilla, joissa on mahdollista luoda omalla kaistalla kulkeva, leveä ja puistomainen raitiotieväylä. Nurmiraadalla on erityisesti haluttu luoda uutta vihreämpää kaupunkiympäristöä. Erityisesti Sammonkatu ja Teiskontie ovat tärkeitä kaupungin sisäänajoväyliä.

### 4.3 Suunnitteluperusteet ja suunnittelun lähtötiedot

Allianssimallinen hanke koostuu kehitys- (KAS) ja toteutusvaiheesta (TAS). Kehitysvaiheessa on hankkeelle luotu suunnitteluperusteet sekä muut suunnittelua ohjaavat päätökset, jotka ohjaavat myös nurmiradan päällysrakenteen suunnittelua. Hankkeen suunnitteluperusteet ja -ohjeet on luotu työpajatyöskentelyn kautta, jossa pohjana on käytetty toimijoiden aikaisemmista hankkeista saatuja kokemuksia, saksalaisia raitiotien rakentamista ja liikennöintiä koskevia määräyksiä, kirjallisuutta, Liikenneviraston sekä Tampereen ja Helsingin kaupunkien ohjeita ja muiden kaupunkien vastaavatyypisten raitiotiejärjestelmien suunnitteluperusteita. [71]

KAS -vaiheessa viherradan osalta tehtyjä päätöksiä ovat, että viherradat tehdään nurmikkopintaisena, pelastusajoneuvoilla ei ole tarvetta käyttää nurmiradan alueita pelastusreiteinä ja nurmirataosuudet rakennetaan Vignole -kiskolla. Vignole -kisko on helpommin puhtaana pidettävä ja vähemmän lehtikeliongelmaa aiheuttava. Lisäksi KAS -vaiheessa on tehty päätökset, että päällysrakenteessa ei käytetä nurmikiveä eikä päällysrakenne perustu rakenteellisesti pelkästään ratapölkkyihin. Nurmiradan hoidon osalta oli päätetty, että nurmiradan kastelua ei toteuteta rakenteeseen asennettavalla kastelujärjestelmällä. [74]

Nurmiradan osalta suunnitteluperusteissa on määritelty ainoastaan, että nurmiradalla ei sallita yhtenäistä betonilaattaa, jotta kasvualustalla säilyisi pohjamaakosketus [71]. Nurmiradan päällysrakenteen suunnittelun edetessä suunnitteluperusteita muutettiin poistamalla kyseinen vaatimus, koska yhteyttä pohjamaahan ei olisi saavutettu ensin suunnitellulla tikapuumallisella laattarakaisulla alusrakenteessa olevan routalevyn vuoksi. Yhtenäisen kiintolaatan ja routalevyn aiheuttama puuttuva yhteys pohjamaahan korvataan käyttämällä optimoituja ja laadukkaita kasvualustatuotteita.

KAS -vaiheessa hankkeelle tehtiin myös kadunrakennustöiden yleinen työselostus, jossa nurmiradan osalta on esitetty seuraavaa:

- Rakenteessa käytetään XPS-500 routalevyä
- Routalevyn alla tulee olla vähintään 300 mm routimatonta materiaalia
- Salaojina kiintolaattaosuuksilla käytetään halkaisijaltaan 110 mm salaojaputkea
- Tarkastuskaivoina käytetään halkaisijaltaan 315 mm kaivoa
- Nurmiradan nurmikot kylvetään kuten A2 -luokan nurmikko
- Nurmiradan nurmikoilla kasvualusta paksuus on vähintään 200 mm. [35]

### 4.4 Suunnitteluprosessi ja tiedonhankinta

Tampereen raitiotien nurmiradan päällysrakennetta on suunniteltu pientyöryhmässä, johon on kuulunut suunnittelijoita eri osa-alueilta, päällysrakenteen rakentajia, projektin johdon henkilöitä sekä tilaajien edustajia. Työryhmä aloitti toimintansa syksyllä 2017 ja

jatkoi työskentelyä kevääseen 2018 saakka. Työryhmä kokoontui suunnittelujakson aikana kahdeksan kertaa: 14.11.2017, 29.11.2017, 12.12.2017, 19.12.2017, 26.1.2018, 16.2.2018, 22.3.2018 ja 19.4.2018. Työryhmän tehtävänä oli tehdä päällysrakenteen suunnitteluun ja koerakenteisiin liittyviä päätöksiä sekä ohjata tekemääni suunnittelutyötä. Lisäksi suunnittelun edetessä käytiin erillisiä tekniikkalajien suunnittelukokouksia. Suunnittelussa tehdyt periaatteelliset ratkaisut hyväksyttiin allianssin projektiryhmällä.

Itse toimin pientyöryhmän puheenjohtajana ja sihteerinä. Lisäkseni työryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

- Mikko Nyhä, VR Track Oy, projektinjohto
- Timo Kuusela, VR Track Oy, päällysrakentaminen
- Jarkko Federley, Pöyry Finland Oy, kiintolaattasuunnittelu
- Jussi Jaakkosela, Pöyry Finland Oy, kiintolaattasuunnittelu
- Terhi Oldén, VR Track Oy, geosuunnittelu
- Jari Koskela, Pöyry Finland Oy, katusuunnittelu
- Annika Jalonen, Pöyry Finland Oy, katusuunnittelu
- Jukka Heinonen, VR Track Oy, katusuunnittelu
- Jyrki Lehtimäki, Tampereen kaupunki, vihersuunnittelu ja -rakentaminen
- Janne Syrjä, Tampereen kaupunki, vihersuunnittelu ja -rakentaminen
- Timo Koski, Tampereen kaupunki, vihersuunnittelu ja -rakentaminen
- Juha-Pekka Reilin, Tampereen kaupunki/Pöyry Finland Oy, vihersuunnittelu
- Mikko Korpela, VR Track Oy, sähkösuunnittelu ja hajavirtojen hallinta
- Markus Keisala, Tampereen Raitiotie Oy, huolto- ja kunnossapito

Suunnitteluprosessissa kaikkia suunnittelualoja suunniteltiin yhdenaikaisesti. Suunnitteluprosessin alusta alkaen rakentamisnäkökulma oli jatkuvasti mukana, jotta suunnittelutyön lopputulos on mahdollisimman optimaalinen myös rakentamisen kannalta. Suunnitteluprosessi voidaan jakaa kolmeen osaan suunnittelun pääpainon mukaan: Kiintolaattaratkaisun suunnittelu, kuivatusratkaisun suunnittelu sekä kasvualustarakenteen suunnittelu ja koerakennesuunnitelma. Kiintolaattaratkaisujen suunnittelu ja vaihtoehtovertailut toteutettiin vuoden 2017 aikana. Kiintolaattaratkaisu tehtiin ensimmäisenä, koska sillä on suuri merkitys muiden tekniikkalajien suunnitteluun. Valitun kiintolaattaratkaisun jälkeen suunnittelun pääpaino siirtyi kuivatusratkaisujen ja koerakenteiden suunnitteluun.

Viher- ja nurmiradoista on varsin vähän kirjallista materiaalia saatavilla. Aiheesta ei ole myöskään tehty julkista tutkimusta. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa aiheeseen minua perehdytti raideliikenneasiantuntija, diplomi-insinööri Antero Alku. Yleisesti aiheeseen perehdytti ja nurmiradan kiintolaattaratkaisuja suunniteltaessa asiantuntijaneuvoja antoi saksalainen raitiotieasiantuntija ja diplomi-insinööri Stephan Besier. Kasvualustoille tehtäviä laboratoriokokeita kanssani olivat suunnittelemassa Tampereen teknillisen yliopiston projektitutkija Tapani Jäniskangas ja projektipäällikkö Kari Pylkkänen. Nurmiradan

kasvualustaratkaisuvaihtoehtoja suunniteltaessa aiheeseen liittyviä keskusteluja ja näkökulmia antoivat VRJ Länsi-Suomi Oy:n varatoimitusjohtaja/myynti- ja markkinointijohtaja Henrik Bos sekä Puutarhapalvelu Hannonen Oy:n toimitusjohtaja Jouko Hannonen.

Kasvualustatuotteista kanssani keskusteluja kävivät Kekkilä Oy:n Technical Product Manager Paulina Nyberg sekä aluemyyntipäällikkö Mika Valkila, Carbons Oy:n Chief Marketing Officer Ilmo Kolehmainen, Hyvinkään Tieluiska Oy:n Production Manager Ismo Heikkala. Nurmikonsiementseoksien suunnittelussa asiantuntijoina olivat S.G Nieminen Oy:n tuotepäällikkö Katja Jansson ja Berner Oy:n myyntipäällikkö Erkki Hakamäki.

Suunnitteluprosessin aikana lähdin selvittämään muutamien referenssikaupunkien nurmiratojen rakenteita. Referenssikaupungeiksi valittiin sellaisia kaupunkeja, joihin oli jo Tampereen raitiotiehankkeen KAS -vaiheessa tutustuttu ja joiden ilmastossa oli jonkun kaltainen talvi. Referenssikaupunkien edustajina tässä työssä toimivat Irlannin liikenneinfrastruktuurin Power & Systems Manager Bernard Kernan ja Track Desing Manager Marcello Corsi Dublinista sekä Bergenin kaupungin suunnittelu ja osastopäällikkö Rune Herdlevaer.



## 5. NURMIRADAN PÄÄLLYSRAKENNERATKAISU

### 5.1 Päällysrakenne

Tässä kappaleessa perehdytään suunnitellun nurmiradan päällysrakenteen kiintolaatta-, kuivatus- ja kasvualustaratkaisuihin sekä mahdollisesti käytettäviin nurmikonsiemenlajeihin. Nurmiradan lopullinen rakenteellinen tyyppipoikkileikkaus on esitetty liitteessä A.

Suurin osa suunniteltavasta nurmiradasta sijoittuu puistomaisiin kaupungin sisääntuloväyliin. Näissä raitiotien molemmiin puolin kulkee katupuu- ja valaisinrivistö. Katupuut istutetaan kantavaan kasvualustaan. Kantava kasvualusta rajautuu raitiotierakenteiden ja katurakenteiden väliin. Raitiotieraiteiden molemmiin puolin on rakenteissa varattu tila erilaisille kaapeloinneille, joista kaikki eivät palvele raitiotieliikennettä. Näihin kuuluvat erilaiset sähkö- ja telekaapeloinnit. Tyyppipoikkileikkauksessa ei ole esitetty ratasähköjohdotyyliväitä, eikä pylväasperustuksia. Nämä on esitetty katukohtaisissa rakennussuunniteluaineistoissa.

#### 5.1.1 Nurmiradan alusrakennerratkaisut

Nurmiradan päällysrakenteen alapuoliset alusrakennekerrokset on suunniteltu jo ennen nurmiradan päällysrakenteen suunnittelua. Nurmirataa rakennetaan kuuden erilaisen alusrakennekerroksen päälle. Alusrakenteet ja niiden pituudet on esitetty taulukossa 5. Huomionarvoista on, että 95 % alusrakennekerroksista on joko routalevy tai paalulaatta, joka katkaisee pohjamaayhteyden täysin vettä läpäisemättömänä rakenteena. Tämä tulee erityisesti huomioida nurmiradan kiintolaatta- ja kuivatusratkaisuja suunniteltaessa, sillä päällysrakenteiden läpi suotautuva vesi ei pääse kulkeutumaan suoraa alempiin rakennekerroksiin.

**Taulukko 5.** Nurmiradan alusrakennetyypit ja -pituudet Tampereen raitiotiehankkeessa.

Alusrakenne	Pituus
Routalevy + 300 mm eristyskerros	994 m
Routalevy + 500 mm eristyskerros	563 m
Routalevy (hyödynnetään olemassa olevia kadun rakennekerroksia)	309 m
Routalevy + 700 mm eristyskerros	35 m
Paalulaatta	121 m
Ei rakennettavaa alusrakennetta	94 m

Jo suunnitteluprosessin alkuvaiheessa suunnittelutyöryhmässä todettiin kiintolaatan alla olevan routalevyn haastavuus etenkin nurmiradan kuivatuksen ja hankkeen suunnittelu- perusteissa esitetyn tikapuumallisen kiintolaatan toteutuksessa. Suunnittelutyöryhmässä pohdittiin eri ratkaisuja routalevyn korvaamiseksi tai routalevyn asentamiseksi syvem- mälle rakenteeseen. Mikäli routalevy olisi siirretty kiintolaatan alapinnasta alusraken- nekerroksen väliin, olisi eristyskerroksen paksuutta tullut lisätä 200-300 mm niillä alusra- kennekerrososilla, joissa eristyskerroksen paksuus on 300 mm. Tämä olisi lisännyt kai- vantosyvyyyksiä sekä massanvaihdon määrää kapeilla työmaa-alueilla. Tällä olisi ollut suuria vaikutuksia rakentamisaikatauluun ja -kustannuksiin. Tähän muutokseen ei haluttu lähteä, joten nurmiradan alusrakennekerrokset jäivät alun perin suunnitellun kaltaisiksi ja suunnitteluperusteista poistettiin vaatimus käyttää aukkomallista kiintolaatta. [50]

## 5.1.2 Kiintolaatta

Suunnittelun lähtötilanteena ovat hankkeen kehitysvaiheessa tehdyt päätökset ja nurmi- rata-alueille jo suunnitellut alusrakennekerrokset. Erityisenä toiveena tilaajan puolelta on, että rakenteen kasvualustakerroksesta haluttaan saada mahdollisimman paksu. Suunnitte- lun aloitusvaiheessa pohdittiin kaikkia kuvissa 3, 4 ja 5 esitettyjä kiintolaattamalleja. Koska nurmiradan katuosuuksilla pohjamaiden kantavuus on osittain heikkoa, ei ainoas- taan kiskon alla olevaa kiintolaattaratkaisua voitu toteuttaa ilman alusrakennekerrosten kerrospaksuuden kasvattamista. Tämän vuoksi kuvassa 3 esitetty laattaratkaisu hylättiin ja nurmiradan kiintolaatta päätettiin toteuttaa raiteen tai radan alla kulkevalla kiintolaa- talla.

Nurmiradan kiintolaatassa halutaan käyttää pohjana muita hankkeen kiintolaattamalleja. Vaihtoehtoina ovat kokonaan paikalla rakennettavat kiintolaattaratkaisut, joita käytetään hankkeen sekaliikennekaistan kiintolaattaratkaisussa sekä pölkky-kiintolaatta -yhdistel- mätarkaisu, jota käytetään hankkeen raitiotiekaistan kiintolaattaratkaisussa. Kokonaan hankkeelle uudenlaisia ratkaisuja mietittiin, mutta jo valmiiksi rakentamisen kautta saatu rakentamiskokemus koettiin tärkeäksi nurmiradan rakentamiskriteeriksi. Tämän vuoksi päädytään käyttämään sovellusta jo käytössä olevista kiintolaattaratkaisuista. Kasvualus- takerroksen paksuus, pienempi betoninkulutus ja rakentamisesta saatu kokemus olivat syitä siihen, että nurmiradan kiintolaattaratkaisu päätettiin lähteä suunnittelemaan Rhe- daCity Green -pölkkyratkaisun ympärille. RhedaCity -pölkky on hankkeella käytössä rai- tiotiekaistan kiintolaattaratkaisussa.

RhedaCity Green on Rail.One:n valmis viherradalle suunniteltu pölkky-kiintolaattarat- kaisu. Ratkaisusta on useita malleja, joista hankkeeseen valiutui The Sosnowiec -malli, sillä mallissa kasvualustapaksuus oli suurin mahdollinen. RhedaCity -pölkky on niin sa- nottu bi-block -pölkky, jossa on kiskonkiinnitysten kohdalla betonista valettu osa. Nämä osat ovat toisissaan kiinni raudoitusten avulla. Pölkky asemoidaan paikoilleen ja sen ym- pärillemuotitetaan ja valetaan betoninen kiintolaatta siten, että osa betonisista pölkkyistä ja raudoitukset jäävät kiintolaattaan. Pölkkyväli rakenteessa on enimmillään 75 cm. [61]

Kuvassa 10 on RhedaCity Green bi-block -pölkky, jossa on kiinni nurmiradassa käytettävä Vignole -kisko. Pölkkyt asemoidaan oikeaan korkeusasemaan joka kolmannessa pölkkyssä olevien kannatustappien avulla. Kuvassa pölkkyjen alla näkyy alusrakenteen päällimmäinen kerros eli pohjamaan routimista estävä routalevy.



**Kuva 10.** RhedaCity Green bi-block -pölkky ja nurmiradassa käytetty Vignole-kisko.

Käytettävän pölkkymallin varmistuttua suunnittelussa siirryttiin nurmiradan kiintolaattamallin suunnitteluun sekä vaihtoehtojen vertailuun. Suunnittelun tässä vaiheessa pyritään saamaan tietoa muiden maiden viher- ja nurmiratojen päällysrakenteesta. Näistä saatujen tietojen perusteella voitiin todeta, että jokaisella kaupungilla on hieman omankaltaisensa ratkaisu, joita ei voida sellaisenaan käyttää tämän hankkeen kiintolaattaratkaisussa. Tämän seurauksena suunniteltiin seitsemän eri vaihtoehtoista kiintolaattarakennetta, joita vertailtiin keskenään ja joiden avulla tehtiin lopullinen kiintolaattamallin valinta.

Vaihtoehtojen vertailussa painotettiin seuraavia kriteerejä:

- Kasvualustapaksuus,
- Rakentamisen helppous/haastavuus, muotitustyön määrä, kuivatusrakenteiden monimutkaisuus,
- Materiaalimenekit ja kustannukset,
- Routalevyn suojaaminen.

Suunnitellut kiintolaattamallit on esitetty kuvassa 11. Kiintolaattavaihtoehtojen selitteet on esitetty taulukossa 6.

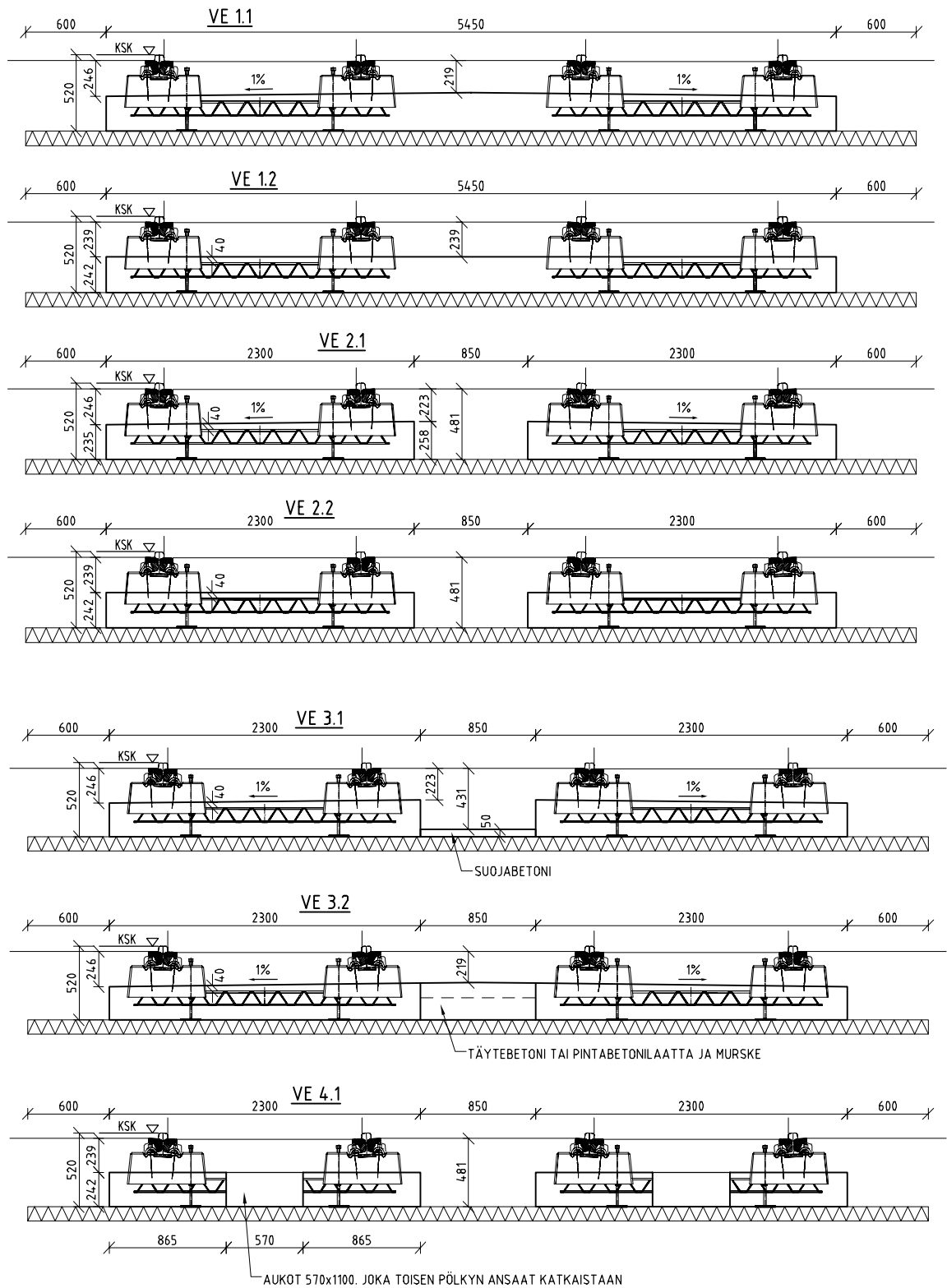
**Taulukko 6.** *Lopulliset kiintolaattavaihtoehdot*

Vaihtoehto	Selite
VE 1.1	Yhtenäinen laatta 1 % poikkikaltevuudella
VE 1.2	Yhtenäinen suora laatta
VE 2.1	2 erillistä laattaa 1 % poikkikaltevuudella
VE 2.2	2 erillistä suoraa laattaa
VE 3.1	2 erillistä poikkikaltevaa laattaa, joiden välissä suojabetoni laatan pinnan tasolla
VE 3.2	2 erillistä poikkikaltevaa laattaa, joiden välissä 5 cm suojabetoni
VE 4.1	2 tikapuurakenteista kiintolaattaa

Vaihtoehto 4.1 hylättiin haastavan rakentamisen vuoksi ja epävarmojen kuivatusratkaisujen vuoksi. Rakenne olisi silponut kiintolaatan ja käytettävien pölkkyjen raudoitusta, lisännyt muotitustyötä sekä lisännyt kuivatusrakenteiden rakentamista. Vaihtoehtoon tarvittavien kuivatusrakenteiden toimintavarmuudesta ei ole kokemuksia ja niiden huolto olisi erittäin hankala toteuttaa.

Vaihtoehdot 1.1, 1.2 ja 3.1 hylättiin liian ohuen kasvualustakerroksen sekä yhtenäiseen laattaan menevien materiaalmäärien vuoksi. Pohjamaan kantavuus tai raitiotieliikenteen aiheuttama kuormitus ei vaatinut yhtenäisen laatan käyttöä. Vaihtoehto 3.2 hylättiin, koska suojabetonin todettiin aiheuttavan enemmän ongelmia routalevyn päällä kuin se, että routalevy on suoraa salaojasorakerrosta vasten.

Rakenteelta vaadittavat kriteerit täyttyivät parhaiten vaihtoehdoissa 2.1 ja 2.2. Lopullinen kiintolaattaratkaisu on näiden vaihtoehtojen yhdistelmä. Kiintolaattaratkaisun kuivatus on esitetty kappaleessa 5.1.3. Tässä vaiheessa suunnittelua kiintolaattojen väli suunniteltiin täytettäväksi salaojasoralla ja kasvualustalla. Suunnittelun edetessä kiintolaattojen väli päätettiin täyttää kokonaan salaojasoralla rakentamisen helpottamiseksi. Raiteiden välissä olevalla paksummalla kasvualustapaksuudella ei todettu olevan suurta merkitystä nurmen kasvun kannalta. Lopullinen kiintolaattaratkaisu on esitetty kuvassa 12.



**Kuva 11.** Viimeisen vaiheen kiintolaattavaihtoehdot. Vaihtoehtojen selitteet on esitetty taulukossa 6. [50]





**Kuva 12.** *Nurmiraadan raiteen alle rakennettu kiintolaatta Sammonkadulla.*

Suunnitellussa kiintolaatassa on nähtävissä bi-block -pölkky, josta osa jää kiintolaatan yläpuolelle. Pölkkyjen välissä on kiskon ja kiintolaatan väliin muodostuva tila, joka täytetään myöhemmin kasvualustalla. Näin ollen kiintolaatan päällä oleva vesi pääsee kulkeutumaan rakenteen ulkoreunoille raiteen alta. Kuvassa pölkkyjen päällä on nähtävissä kiskonkiinnitykset sekä paikoilleen asemoitu Vignole -kisko. Kiintolaattojen välissä ja sivuilla on laattojen alla XPS 500 -routalevy. Lisäksi kuvan yläosassa näkyy kiintolaa-tasta sivulle erkaneva pylväsperustuselementti.

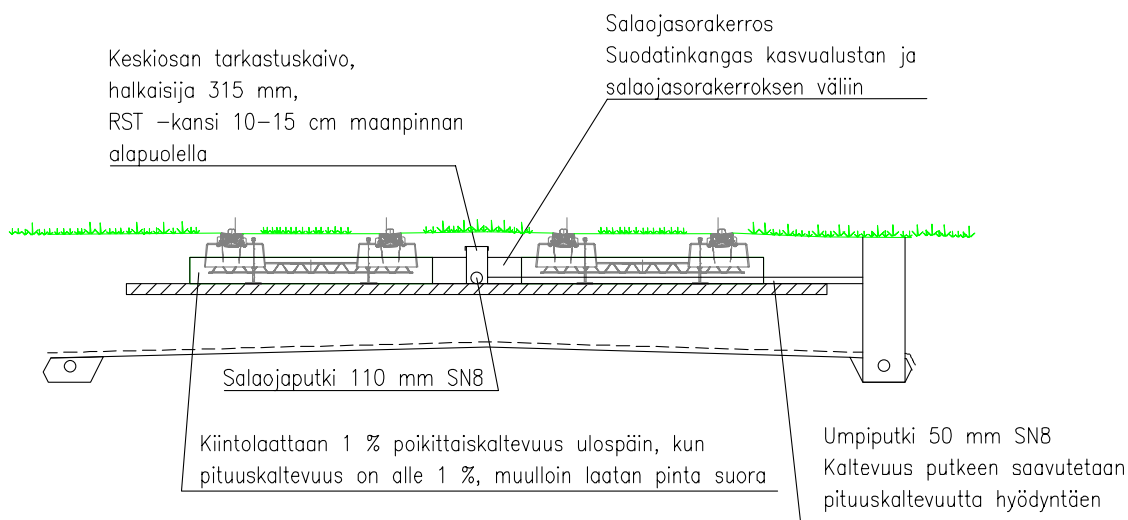
### 5.1.3 Kuivatus

Nurmiraadan päällysrakenteen kuivatusratkaisut perustuvat kiintolaattojen sivuilla oleviin syväsalaojiin, kiintolaattojen välissä olevaan salaojaan sekä kiintolaatan pinnan kallistukseen. Raitiotierakenteiden toisella tai molemmilla puolilla kulkee syväsalaoja, joka kerää rakenteiden läpi suotuvat hulevedet. Syväsalaojaverkostossa on tarkastuskaivoja noin 40 metrin välein verkoston kunnossapidon ja putkien risteämäkohtien vuoksi. Syväsalaojaverkosto puretaan jo olemassa oleviin tai rakennettaviin hulevesiverkostoihin. Ratarakenteiden alla oleva leikkauspohja on tasattu kallistamaan syväsalaojia kohti.

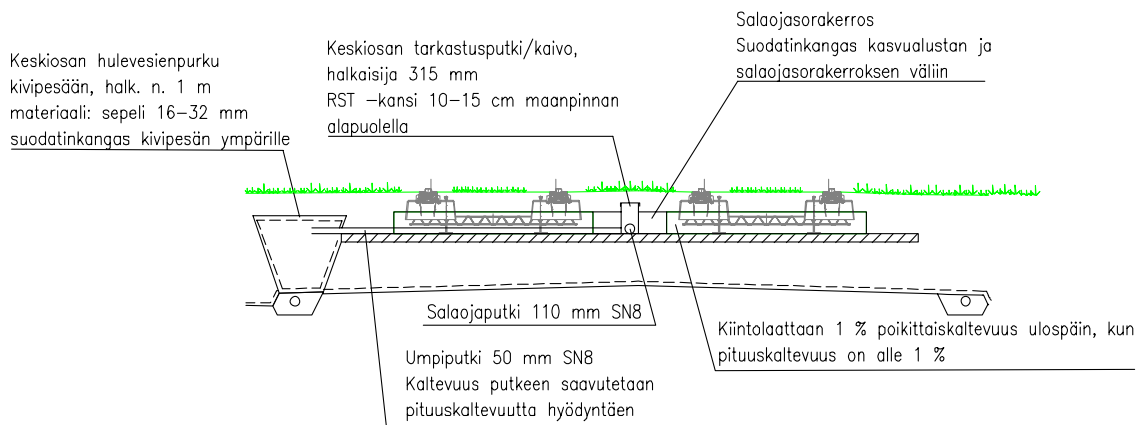
Kiintolaatan päällä kuivatus toteutetaan laatan pituus- ja poikkikaltevuuden avulla. Laatan pituuskaltevuuden ollessa alle 1 %, kiintolaatan pintavalun jälkeen laatan pinta hier-

retään 1 % ulospäin poikkikaltevaksi. Näin laatan päällä oleva liiallinen hule- ja kasteluvesi johtuu kohti syväsalaojia. Laattojen poikkikaltevuudet rakennetaan myös pituuskaltevuuksien notkopaikkoihin. Alueilla, joissa laatan pituuskaltevuus on yli 1 %, kiintolaattaan ei hierretä poikkikaltevuutta.

Kiintolaatat ja rakenteen alla oleva routalevy muodostavat laattojen väliin vettä läpäisevämmän kourun. Tähän kouruun suotautuvat ainoastaan kiintolaattojen välialueen hule- ja kasteluvedet, jotka eivät haihdu tai jota pinnan nurmikkokasvillisuus ei käytä. Vähäistäkään määrää suotovedestä ei voida jättää seisomaan rakenteeseen routalevyn päälle. Laatan ja routalevyn väliin johtuva ja siellä seisova vesi saattaa aiheuttaa kiintolaattaan vaurioita, kuten halkeamia. Erityinen riski näille on keväällä ja syksyllä sulamis-pakastumisjaksojen aikana. Rakenteessa käytettävästä routalevystä ei ole tehty pidemmän aikavälin tutkimuksia levyn kestävydestä sulamis-pakkasjaksojen aikana. Tehdyissä tutkimuksissa routalevy on altistettu kerran pakkaselle vapaan veden olosuhteissa. [43] Pitkään, jopa vuosikymmeniä, kestäviä koetuloksia ei materiaalista ole olemassa. Tämän vuoksi suurin osa kiintolaattojen väliin suotuvista vesistä halutaan johtaa pois nurmiradan päällysrakenteesta. Suunnitellut nurmiradan kuivatusratkaisut on esitetty kuvissa 13 ja 14.



**Kuva 13.** Nurmiradan kuivatuksen periaatepoikkileikkaus tilanteesta, jossa raiteiden välissä olevan keskikaivon purkuputki johdetaan salaojan tarkastuskaivoon.



**Kuva 14.** Nurmiraian kuivatuksen periaatepoikkileikkaus tilanteesta, jossa raiteiden välissä olevan keskikaivon purkuputki johdetaan kivipesään.

Ratkaisuksi edellä esitettyyn ongelmaan päätettiin kiintolaattojen väliin rakentaa halkaisijaltaan 110 mm salaojaputki, joka kulkee pituussuuntaisesti routalevyn päällä, kiintolaattojen välissä, laattojen alapinnan tasossa. Tähän laattojen väliseen salaojaverkostoon rakennetaan halkaisijaltaan 315 mm tarkastuskaivoja 50-100 metrin välein. Kaivoväli on riippuvainen nurmiraidan pituuskaltevuudesta. Mikäli pituuskaltevuus on yli 2 %, kaivoväli on noin 100 m. Alle 2 % pituuskaltevuuksilla kaivoväli on noin 50 m. Tarkastuskaivoihin asennetaan metallikannet noin 10-15 cm maanpinnan alapuolelle. Tarkastuskaivoista vedet johdetaan kiintolaattojen alapinnassa kulkevan, halkaisijaltaan 50 mm olevan umpiputken avulla joko rakenteen ulkosivulla olevaan syväsalaojan tarkastuskaivoon tai kivipesään. Kivipesäpurut toteutetaan ainoastaan silloin, kun purku kaivoon ei ole mahdollinen. Kivipesän halkaisija on noin 1 metri ja sen materiaalina käytetään halkaisijaltaan 16-32 mm sepeleä. Kivipesä materiaalin ja muiden rakennekerrosten väliin asennetaan suodatinkangas materiaalien sekoittumisen estämiseksi.

#### 5.1.4 Kasvualusta

Hankkeen kehitysvaiheessa ei oltu luotu vaatimuksia nurmiraidan kasvualustalle. Kehitysvaiheessa oli kuitenkin mietitty ratkaisua, jossa kasvualustoina on käytetty normaalia nurmikon teollista kasvualustaa sekä mikrokantavaa kasvualustaa. Mikrokantava kasvualusta on sovellus kantavasta kasvualustasta. Erona materiaalissa on käytettävän kiviainesmateriaalin raekoko. Kantavassa kasvualustassa käytettävän kiviainessepin raekoko vaihtelee 50-150 mm välillä [40]. Mikrokantavassa kasvualustassa sepin raekoko on suunniteltu välille 2-32 mm. [51] Mikrokantava kasvualusta ei yksin riitä takaamaan nurmikon elinvoimaista kasvua vaan sitä suositellaan käytettäväksi yhdessä nurmen normaalin kasvualustan kanssa. [25, 26]

Mikrokantavasta kasvualustasta ei ole saatavilla tutkittua tietoa. Lisäksi Suomessa ja maailmalla hyvin vähän käytännön kokemusta mikrokantavan kasvualustan käytöstä.



Nurmiran kasvialustat ja nurmikon menestyminen on yleisesti hyvin paikkasidonnaisia ja alueellisella mikroilmastolla on vaikutusta nurmikon kasvuun [19]. Tämän vuoksi tässä hankkeessa toteutetaan nurmiradan koerakenteet autenttisessa ympäristössä. Koerakenteissa tutkitaan muun muassa eri kasvialustamateriaalien vaikutusta nurmikon kasvuun. Kasvialustoina koerakenteissa käytetään teollisesti valmistettuja tuotteita eli tuotteistettuja kasvialustoja. Suunniteltuja koerakenteita käsitellään tarkemmin tämän työn luvussa 7.

Suunnitellulla kiintolaattarakenteella nurmen kasvialustapaksuudeksi saadaan ohuimmillaan 200 mm ja paksuimmillaan lähes 500 mm. Ohuimmillaan kasvialustakerros on kiintolaatan päällä ja paksuimmillaan kiintolaattojen ulkoreunoilla. Lopullinen kasvialustamateriaalien valinta ja käytettävien tuotteiden kerrospaksuudet tehdään koerakenteista saatavien tulosten jälkeen.

### 5.1.5 Kasvillisuus

Nurmiran nurmikolta vaaditaan talven-, taudin-, poudan- ja varjonkestävyyttä sekä kykyä kilpailla kasvutilasta. Nurmikolta vaaditaan myös jonkin verran kykyä kestää matalaan leikkuuta, sillä tässä hankkeessa nurmiradan nurmikko leikataan 30-40 mm korkeiseksi. Tampereen nurmiradan nurmikko leikataan, kun nurmikon korkeus on noin 100 mm hajavirtojen hallinnan vuoksi. [50] Viime vuosina nurmikasvien jalostusta on kohdistettu kasvukorkeuden lyhentämiseen, joka on hyvä ominaisuus nurmiradan hoidon kannalta. [41]

Nurmiran nurmikolta vaaditaan hyvää kuivuuden- ja märkyydenkestoa. Nurmikon tulee kestää molemmat olosuhteet. Etenkin Suomessa kesät poikkeavat suuresti toisistaan ja äärisääilmiöt ovat lisääntymässä. Tampereen raitiotien nurmirataa ollaan varauduttu kastelemaan. Kastelujärjestelmää ei asenneta rakenteeseen vaan kastelu suoritetaan kiskoilta käsin raitiotien huoltokalustolla. Hyvä talvenkesto on myös erityisen tärkeää nurmikon kestävyys vuoksi. Tampereella nurmiradan nurmikolla on enimmillään muutama senttimetrin suojaava lumikerros päällään. Nurmikon varjonkesto tulee aiheelliseksi katupuiden aiheuttamien varjoisten kasvuolojen takia.

Suomessa nurmiradan nurmikonsiemenseoksista ei ole juurikaan käytännön kokemusta. Ainut kokemus on Helsingin raitiotiestä, jossa rakenne on erilainen ja nurmikkokasvillisuus ei ole suoraa verrattavissa tässä työssä käytettävään nurmipintaan. Tämän vuoksi Tampereen nurmiradassa on suunniteltu käytettäväksi lajikkeita, joista on hyviä kokemuksia muun muassa urheilunurmikoilla, joissa käytettävät lajikkeet voidaan leikata lyhyeksi ja niiden kulutuskestävyys on hyvä. Nurmiradalle ehdotettuja nurmikonsiemenlajikkeita ovat etelä-, puna- ja puistonata, niittynurmikka sekä nurmirölli. [23, 31] Taulukossa 7 on vertailtu ehdotettujen nurmilaatujen nurmiradassa vaadittavia ominaisuuksia.

**Taulukko 7.** Nurmiraadalle ehdotettujen nurmikkolajien kasvulta vaadittavat ja kasvun kannalta keskeiset ominaisuudet [52]

	Punanata ( <i>Festuca rubra rubra</i> )	Puistonata ( <i>Festuca nigrescens</i> )	Etelänata ( <i>Festuca trichophylla</i> )	Niittynurmikka ( <i>Poa pratensis</i> )	Nurmirölli ( <i>Agrostis capillaris</i> )
Taimettumisnopeus	22 vrk	22 vrk	22 vrk	32 vrk	15 vrk
Optimaalinen itämislämpötila	15-25 °C	15-25 °C	15-25 °C	15-30 °C	15-30 °C
Leviämistyyli	rönsyily	mätästävä	rönsyily	rönsyily	
Kasvuvoimakkuus	voimakas	voimakas	voimakas	kohtalainen	voimakas
Matalin leikkauskorkeus	30 mm	alle 10 mm	alle 10 mm	30 mm	alle 3 mm
Kuivuudenkesto	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä/keskinertainen	tydyttävä
Märkyymisenkesto	alhainen	alhainen	alhainen	keskinkertainen	hyvä viileässä
Kulutuksenkesto	tydyttävä	kohtalainen	kohtalainen	hyvä	heikko
Talvenkesto	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä	heikko
Varjonkesto	tydyttävä	hyvä	hyvä	huono	tydyttävä

Nurmiraadalla käytettävät nurmikon siemenseokset ovat laji- ja lajikeseoksia, jotta kasvu-tulos olisi mahdollisimman monipuolinen ja kestävä. Tässä hankkeessa nurmiradan siemenseoksena käytetään erilaisten nattojen (puisto-, etelä- ja punanata) ja niittynurmikan seoksia. Siemenseoksessa oleva puistonata tuo kasvustoon tiheyttä mätästävän kasvutavan vuoksi. Nadat eivät ole niin kulutuskestäviä kuin niittynurmikka, mutta niiden taimettumisaika on nopeampi. Punanadan ja niittynurmikan etuna on nopea aukkopaiikkojen täyttyminen. [41] Niittynurmikan talvehtimiskestävyys on muita lajikkeita parempi. Nurmiröllisiemenen käyttöä mietittiin, mutta siitä luovuttiin lajin huonon talvehtimiskestävyyden ja kulutuksenkeston vuoksi. [23] Lopullinen päätös siemenseoksessa käytettävistä lajikkeista ja niiden seossuhteista tehdään koerakenteista saatavien tulosten perusteella.

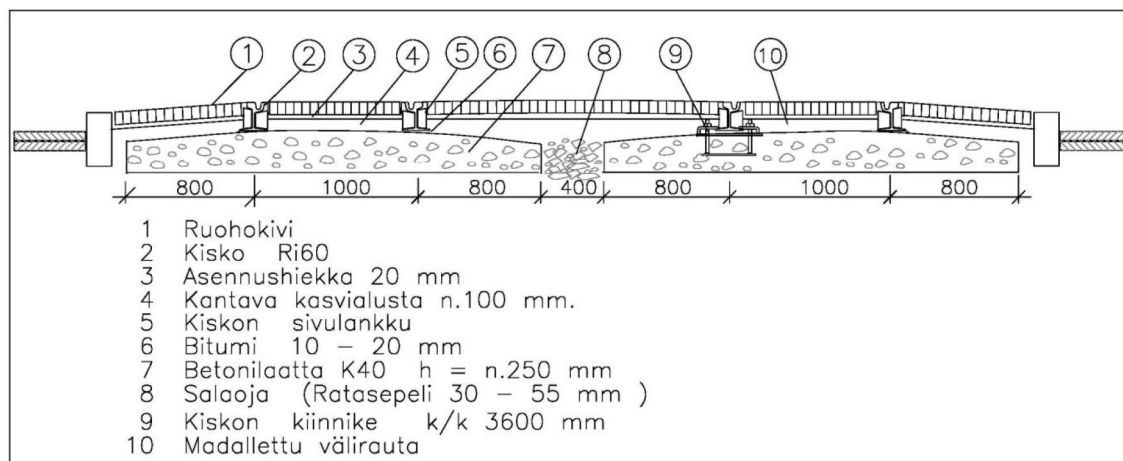
## 5.2 Rakenneratkaisun vertailu

Kaikissa nurmirataosuuksia sisältävässä raitiotiekaupungissa on nurmiradan rakenteissa käytetty kaupunkikohtaisia rakenne- ja suunnitteluratkaisuja. Kuitenkin suurin osa rakenteista voidaan lukea kuuluvaksi johonkin kappaleessa 2.2 esitettyyn ratkaisuun. Yhteinäistä kaikissa tutkituissa rakenneratkaisuissa on, että päällysrakenteen yhteispaksuus on

noin 500 mm. Alla on esitetty muutamien raitiotiekaupunkien nurmiradan päällysrakennetta sekä verrattu sitä tässä työssä suunniteltuun nurmiradan päällysrakenteeseen.

### 5.2.1 Helsingin raitiotie

Helsingin keskustan raitiotien nurmirataosuudet poikkeavat suuresti Tampereen raitiotiehankkeeseen suunnitellusta. Suurena erona lähtötilanteessa on, että Helsingin nurmirata-alueet toimivat myös tarvittaessa pelastusajoneuvoliikenteen reittinä. Tämän vuoksi Helsingissä käytetään nurmikivirakennetta, jonka periaatekuva on esitetty kuvassa 15. Nurmikivirakenne mahdollistaa raskaan liikenteen kulkemisen nurmiratarakenteen päällä. Muun kuin raitiotieliikenteen vuoksi kiskon yläpinta sekä nurmikiven yläpinta tulee olla samassa korkeusasemassa, jonka vuoksi rakenteessa käytetään urakisko -kiskoprofiilia. [60]



**Kuva 15.** Helsingin raitiotien nurmiradan periaatepoikkileikkaus [60]

Helsingin raitiotien nurmiradan päällyskivenä käytetään kahta erilaista nurmikiveä. Nurmikivien ladonnassa muodostuu aukkoja, jotka täytetään kasvialustaseoksella ja joihin kylvetään nurmikko. Lopullisessa pinnassa nurmikko peittää noin 50 % pinta-alasta. Kiveysrakenne näkyy lopullisessa nurmiratapinnassa. Nurmikivien välissä käytetty kasvualusta on peruslannoitettua peltomultaa ja käytetty nurmisiemenseos sisältää lampaannattaa ja kylänurmikkaa. Nurmikivet asennetaan ohuen asennushiekkakerroksen päälle. Asennushiekan päälle on levitetty TerraCottem® -polymeeriä 200 g/m<sup>3</sup>. Asennushiekan alla on mikrokantava kasvialusta, jonka paksuus on noin 10 cm. Käytettävä mikrokantavan kasvialustan kiviaineksen raekoko on 8-16 mm ja sitä on noin 60 % materiaalista. Loppuosa mikrokantavasta kasvialustasta on multaa. Mikrokantavaan kasvialustaan on lisäksi lisätty TerraCottem® -polymeeriä 400 g/m<sup>3</sup>. [60] Kuvassa 16 on esitetty Helsingin raitiotien nurmirataa keväällä kasvukauden alkuvaiheessa.



*Kuva 16. Helsingin kaupungin raitiotien nurmirataosuutta keväällä 2018.*

Helsingin raitiotien nurmirata poikkeaa lähes kaikilta osin Tampereen raitiotiehen suunnitellusta nurmiratarakenteesta. Helsingin raitiotien erikoisuutena on raitiotieosuuksien käyttö pelastusajoneuvoliikenteen kulkuväylänä sekä 1000 mm raideleveys. Helsingin raitiotien nurmiradassa kasvualustatilavuus jää erityisen pieneksi ja kasvualustakerrosten välissä on ohut asennushiekkakerros. Helsingissä nurmiradan haasteena on nurmikon kastelu ja kuivuudensieto. Myös viherpeittävyysien saaminen riittäväksi nurmikivirakenteessa on nurmiradassa ongelmallista. [50] Samankaltaista Helsingin nurmiratarakenteessa tässä työssä suunniteltuun rakenteeseen on ainoastaan raiteiden alla kulkeva kiintolaatta ja laattojen välissä oleva salaojasorakerros.

## 5.2.2 Raide-Jokeri

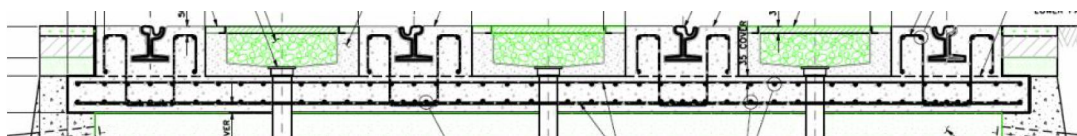
Raide-Jokeri on pääkaupunkiseudulle suunnitteilla oleva moderni raitiotieyhteys Keilaniemen ja Itäkeskuksen välille. Raitiotielinja tulee kulkemaan Espoon ja Helsingin kaupungin alueella. Radan pituus on noin 25 kilometriä. [56] Hankkeessa on tällä hetkellä menossa projektin kehitysvaihe. Nurmiradan määrästä ja rakenteesta ei ole tehty vielä lopullisia päätöksiä, mutta hankkeeseen on tulossa merkittäviä osia nurmiratana ja mahdollisesti useammalla rakenteellisella ratkaisulla. Merkittävää on myös, että suunniteluilla nurmirataosuuksilla ei ole vaatimusta pelastusliikenteen ajoreitteinä. Tämä mahdollistaa monipuolisemmat nurmiratarakennevaihtoehdot. [75]



Raide-Jokeri -hankkeessa raideleveys on Helsingin raitiontien kanssa sama, 1000 mm. Tampereen raitiotiessä käytettävä raideleveys on 1435 mm. Tällä on jonkin verran vaikutusta nurmiradan suunnittelussa erityisesti kiskojen väliin. Tampereen raitiotiehanke ja Raide-Jokeri ovat käyneet keskinäistä tiedonvaihtoa nurmiradan suunnittelun yhteydessä.

### 5.2.3 Dublin

Dublinissa on käytössä kahta erilaista nurmiradan päällysrakennetta. Kuvassa 17 on esitetty Dublinissa käytettyä nurmiradan päällysrakennetta. Uusia nurmirataosuuksia ei enää rakenneta kyseisellä periaatteella, vaan uudet nurmirataosuudet rakennetaan kuvassa 18 esitetyllä rakenneratkaisulla.



*Kuva 17. Dublinissa käytetty nurmirataratkaisun periaatekuva [8]*

Dublinin ensimmäiset nurmiradat rakennettiin urakiskolla ja kiintolaattaratkaisulla, jossa raiteiden alla on yhtenäinen betonilaatta. Laatasta jokaisen kiskon molemmin puolin nousee suojaava betonikaulus. Kyseisessä rakenneratkaisussa nurmikko kasvaa laatan päällä kuin yksittäisissä kasvulaatikoissa. [8] Dublinin ilmasto on hyvin kostea verrattuna Suomen ilmastoon ja rakenteessa kuivatusratkaisuihin on kiinnitetty erityistä huomiota. Jokaisessa nurmikon istutuslaatikossa on sepelillä täytetty kuivatusputki suotautuvien vesien poisjohtamiseksi. Kuivatusputkien sadevedet kerätään kokoojaverkostoon ja johdetaan ratarakenteen ulkopuolelle. [38] Kyseisessä ratkaisussa ei ole samoja piirteitä kuin tässä työssä suunnitellussa rakenteessa.



*Kuva 18. Dublinissa uudempien nurmirataosuuksien rakenne [38]*

Kuvassa 18 on esitetty uusi Dublinin nurmiradan päällysrakenne. Rakenne on samankaltainen kuin tässä työssä suunniteltu nurmiradan päällysrakenne. Molemmissa rakenteissa käytetään Vignole -kiskoa, RhedaCityn Green -pölkkyä sekä samankaltaisia kumieristys-elementtejä hajavirtojen hallintaan. Molemmissa ratkaisuihin pölkky asennetaan kiintolaattaan. Eroavaisuuksina on, että Tampereen raitiotiehankkeen nurmiradassa käytetään korkeampaa pölkkyä, jolloin kasvualustakerrosta saadaan kiintolaatan päälle paksumpi kerros. Dublinin nurmiradassa kasvualustakerroksen paksuus vaihtelee 150-200 mm välillä, kun tässä työssä suunnitellun nurmiradan päällysrakenteen kasvualustan minimipaksuus on 220 mm. Dublinissa käytettävä kiintolaatta on yhtenäinen molempien raiteiden alla kulkeva betonilaatta, kun tässä työssä suunnitellussa päällysrakenteessa laatat ovat erilliset raiteiden alla. Dublinin ilmasto-olosuhteissa erilliselle routasuojaukselle ei ole tarvetta. [8]

#### 5.2.4 Lund ja Wien

Lundissa ja Wienissä on hyvin samankaltaiset nurmiradan päällysrakenteet. Lundissa on parhaillaan käynnissä oleva raitiotien rakennushanke, jossa rakennetaan pitkiä rataosuuksia nurmiratana. Molemmissa kaupungeissa kiintolaattaratkaisuna on käytetty jokaisen kiskon alla kulkevaa erillistä betonilaattaa. Betonilaatat on Lundissa yhdistetty toisiinsa betonisin elementein noin 200 metrin välein. Lundissa kiskotyyppinä on urakisko ja kasvualustan korkeus on kiskon yläpinnan kanssa samassa tasossa. [76] Wienissä nurmiratarakenteita on sekä Vignole- että urakiskollisena. Vignole -kiskollinen rakenne on matalan kasvillisuustyyppin rakenne ja urakiskollinen korkean kasvillisuustyyppin rakenne. Kasvualustan paksuus kohteissa vaihtelee 100-250 mm välillä. [15]

Edellä mainitut ratkaisut eroavat melko suuresti tässä työssä suunnitellusta nurmiradan päällysrakenneratkaisusta. Suurimmat eroavaisuudet ovat Vignole -kiskorakenteessa käytetty kasvillisuustyyppi sekä käytetty laattamalli. Tampereen raitiotiehankkeessa korkeaan kasvillisuustyyppiin päädyttiin kaupunkikuvallisista lähtökohdista. Lundin ja Wienin kaltaista, jokaisen kiskon alla erikseen kulkevaa, kiintolaattaratkaisua mietittiin myös Tampereelle. Vaihtoehto hylättiin kasvavien alusrakente- ja pohjanvahvistustöiden vuoksi.

## 6. KASVUALUSTAMATERIAALIEN LABORATORIOMÄÄRITYKSET

### 6.1 Laboratoriokokeiden lähtökohdat

Nurmiraan kasvualustan koostumuksella on suuri merkitys, sillä kasvuolosuhteet ovat vaativat ja kasvualustapaksuudet ovat kiintolaattarakenteiden päällä ohuempia kuin esimerkiksi normaaleilla puistoviheralueilla. Nurmiraassa kasvualusta luo pohjan kestäväälle nurmikkopinnalle. Lisäksi kasvualustalta vaaditaan kulutuskestävyyttä ja kantavuusominaisuuksia. [19] Tampereen raitiotiehankkeen kehitysvaiheessa nurmiraan päällysrakennetta pohdittaessa on mietitty mikrokantavan kasvualustan käyttöä. Mitään päätöksiä kasvualustan suhteen ei kuitenkaan tehty. Kehitysvaiheessa on Kekkilä Oy:ltä pyydetty heidän ehdotuksensa nurmiraan kasvualustaksi. Heidän yksi ehdotus oli projektikohtainen mikrokantava kasvualusta, joka koostuisi 16-32 mm sepelistä sekä kasvualustasta. [51]

Suunnittelutyön edetessä nurmiraan päällysrakenteen suunnittelutyöryhmä päätti teettää tämän diplomityön puitteissa laboratoriokokeita erilaisilla mikrokantavilla kasvualustoilla, sillä tutkittua ja käytännön tietoa kyseisistä tuotteista ei ole olemassa. Suomessa kyseisen kaltaisia kasvualustoja ei myöskään ole juurikaan rakennettu. Esimerkiksi Tukholmassa on tehty koealueita kaupungin viheralueilla mikrokantavilla kasvualustoilla, mutta sieltä saatujen kokemusten samankaltaisuudesta Suomen ilmastossa ei voida olla varmoja. Tässä työssä tehtävien laboratoriokokeiden avulla haluttiin selvittää eri mikrokantavien kasvualustavaihtoehtojen vedenpidätys- ja vedenläpäisevyysarvoja. Jo tässä vaiheessa oli päätetty Sammonkadulle tehtävistä koerakenteista. Laboratoriokokeiden tulosten perusteella tehtäisiin lopullinen päätös siitä, mitä materiaalisieksia valitaan tehtäviin nurmiraan koerakenteisiin.

### 6.2 Testattavat näyteseokset ja materiaalit

Laboratoriomääritykset päätettiin tehdä neljällä eri raekokoisella murskeella. Valitut raekoot ovat raekooltaan 0-8 mm, 2-8 mm, 0-16 mm sekä 8-16 mm. Murskeena käytettiin Tampereen Raitiotieallianssin omalla työmaalla louhittua ja murskattua kiviaineista. Raekooltaan 2-8 mm murske valmistettiin 0-8 mm murskeesta seulomalla se Tampereen teknillisen yliopiston Maa- ja Pohjarakenteiden laboratoriossa.

Kasvualustamateriaalina näissä laboratoriokokeissa päätettiin käyttää Pirkanmaan Jätehuollon tuottamaa biomultaa, joka on yrityksen valmistama valmis kasvialustatuote. Biomulta koostuu kompostoidusta biojätteestä (60 %) sekä hiekasta (40 %). [55] Laborato-

riokokeissa käytettävistä kasvualustaseoksista haluttiin saavuttaa mahdollisimman samankaltaisia kuin mitä kaupalliset kasvualustaseokset ovat. Tämän vuoksi kokeissa haluttiin orgaanisena aineena käyttää kompostivalmistetta, sillä sen käyttö teollisesti tuotetuissa kasvualustoissa on yleisempää kuin turpeen. Pirkanmaan Jätehuollon Biomulta valitui materiaaliksi sen ominaisuuksien ja saatavuuden vuoksi.

Jokaiseen murskekokoon sekoitettiin 2 eri tilavuusprosenttia Biomultaa. Näin ollen tutkittavia murske-komposti -kasvualustaseoksia muodostui 8 erilaista.

- murskekoko 8-16 mm 70 til-%, biomulta 30 til-%
- murskekoko 8-16 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%
- murskekoko 0-16 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%
- murskekoko 0-16 mm 90 til-%, biomulta 10 til-%
- murskekoko 0-8 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%
- murskekoko 0-8 mm 90 til-%, biomulta 10 til-%
- murskekoko 2-8 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%
- murskekoko 2-8 mm 90 til-%, biomulta 10 til-%

Kasvualustaseokset valmistettiin Tampereen teknillisen yliopiston Maa- ja Pohjarakenteiden laboratoriossa. Seokset valmistettiin mittaamalla tarvittavat murske sekä biomultamäärät. Kokonaisseosmäärä on noin 8 litraa. Täytetyt murske ja biomultamäärätmitat myös punnittiin, jotta saatiin selville materiaalien massa sekä voitiin tarkkailla mitallisten samankaltaisuutta. Seoksia sekoitettiin kuvassa 19 esitetyllä sekoittimella 3 minuutin ajan.



**Kuva 19.** Kasvualustaseoksiin käytetty sekoituslaitteisto



Taulukossa 8 on esitetty tutkittujen materiaalien pesuseulonnan avulla saadut rakeisuustiedot. Tutkittavien materiaalien rakeisuuskäyrät on esitetty liitteessä B.

**Taulukko 8.** Tutkittavien näytteiden rakeisuustiedot

	rakeiden keskihalkai- sija	raekoko- suhde	hienoainespitoi- suus
Näyte	mm		%
Murske 8-16 mm 70% - Biomulta 30 %	10,72	5,90	2,32
Murske 8-16 mm 80% - Biomulta 20 %	11,66	2,00	1,80
Murske 0-16 mm 80% - Biomulta 20 %	2,01	27,30	5,68
Murske 0-16 mm 90% - Biomulta 10 %	2,00	27,80	6,41
Murske 0-8 mm 80% - Biomulta 20 %	1,51	20,20	5,63
Murske 0-8 mm 90% - Biomulta 10 %	1,58	23,60	6,73
Murske 2-8 mm 80% - Biomulta 20 %	4,24	2,70	1,74
Murske 2-8 mm 90% - Biomulta 10 %	5,02	2,60	3,08

Materiaaliseoksille määritettiin rakeisuuskäyrät sekä hehkutushäviö. Hehkutushäviö kuvaa näytteessä olevan orgaanisen aineksen määrää. Suurin osa orgaanisesta aineksesta on humusta, jonka vuoksi tuloksissa puhutaan näytteiden humuspitoisuuksista. Lisäksi jokaisesta kasvualustaseoksesta määritettiin vedenläpäisevyys- ja vedenpidätyskykyarvot.

### 6.3 Laboratoriokoemääritykset

Jokaisesta laboratoriossa tehdystä kasvualustaseoksesta määritettiin rakeisuuskäyrät SFS-EN-933-1 standardin mukaisesti pesuseulonnalla. Näytteiden orgaanisen aineksen määrä määriteltiin kuivapolttomenetelmällä, jossa näytteitä poltetaan + 550 °C uunissa kaksi tuntia. Vertailemalla näytteiden painoa ennen ja jälkeen polttoa pystytään määrittämään näytteiden palanut orgaaninen aines [33]

Näytteiden vedenläpäisevyyksien testaukset toteutettiin vakiopainemenetelmällä. Vedenläpäisevyydet mitattiin kahdessa eri tiiviysasteessa, 90% ja 100 %. Näytteet tiivistettiin koesyntereihin ICT -laitteella. Tiivistyksessä työpaineena on 4 bar. 100 % tiiviysastetta varten tehtiin 140 työkierrosta, 90 % tiiviysasteeseen 5 työkierrosta. [33] Vakio-painemenetelmässä tarkastellaan tietyssä ajassa näytteen läpivirrannutta vesimäärää. Koe suoritetaan Proctor -sylinterillä, jonka pohjaan asennetaan seulaverkko ja 20-30 mm paksuinen suodatinkerros hienosta sorasta. Lopullisen näytteen paksuus on noin 120 mm. Näytteen päälle tehdään suodatinkerros. Näyte täytetään vedellä ja suljetaan tiiviillä kannella. Näytteeseen lisätyn veden annetaan imeytyä täysin maanäytteen läpi. Kun veden läpivirtaus näytteen läpi on tasaantunut, mitataan tietyn ajan aikana näytteen läpi virrannut vesimäärä. [57] Alla olevan kaavan avulla voidaan määrittää näytteen vedenläpäisevyys.

$$k = \frac{Q \cdot h}{A \cdot t \cdot H}, \text{ missä}$$

$k$  on vedenläpäisevyys,

$Q$  on näytteen läpi ajassa  $t$  virrannut vesimäärä,

$h$  on näytteen korkeus,

$A$  on näytteen pinta-ala,

$t$  on havaintoaika,

$H$  on painekorkeus,

$T$  on läpivirtaavan veden lämpötila. [57]

Vedenpidätyskokeet tehtiin Tampereen teknillisen yliopiston laboratoriossa kehitetyllä Sahi -mallisella kapillaarimetrillä, joka on esitetty kuvassa 20. Vedenpidätyskokeessa kapillaarimetrissä olevaan näytesylinteriin sullotaan näyte, joka kyllästetään vedellä. Kyllästetyn näytteen alapintaan kohdistetaan 40 cm:n alipaine. [34]



**Kuva 20.** Vedenpidätyskokeen mittauslaitteisto [34]

Näytteen vedenpidätyskyky saadaan laskettua alla esitetyllä kaavalla

$$w = \frac{m_m - m_k}{m_k} \cdot 100\%, \text{ missä}$$

w on näytteen vedenpidätyskyky massaprosentteina (m -%),  
 $m_m$  on näytteen massa kosteana (g) 40 cm alipaineessa,  
 $m_k$  on kuivatun näytteen massa (g). [34]

## 6.4 Tulokset

Analysoitavista kasvualustaseoksista mitattiin hehikutushäviö, joka kuvaa näytteessä olevan orgaanisen aineksen määrää. Näytteistä mitattiin myös niiden vesipitoisuudet. Vesipitoisuus mitattiin sekoitetusta kasvualustaseoksesta ennen vedenläpäisevyyden ja vedenpidätyskyvyn mittausta. Näytteiden humus- ja vesipitoisuudet sekä vedenpidätyskyky-mittauksen tulokset on esitetty taulukossa 9. Vedenläpäisevyydestin tulokset on esitetty taulukossa 10. Vedenläpäisevyydestin tulokset on esitetty kolmessa eri yksikössä tulosten vertailun helpottamiseksi. 8-16 mm mursketta sisältävien näytteiden vedenläpäisevyys mitattiin ainoastaan 100 % tiiveysasteessa. Muiden kasvualustaseosten vedenläpäisevyysarvot mitattiin 90 % ja 100 % tiiviysasteissa.

**Taulukko 9.** *Analysoitujen kasvualustaseosnäytteiden humus- ja vesipitoisuudet sekä vedenpidätyskyky-mittauksen tulokset massaprosentteina (m-%)*

	Humuspitoisuus	Vesipitoisuus	Vedenpidätyskyky
	m -%	m -%	m -%
Murske 8-16 mm 70% - Biomulta 30 %	3,8	9,7	9,3
Murske 8-16 mm 80% - Biomulta 20 %	2,1	5,1	4
Murske 0-16 mm 80% - Biomulta 20 %	2,3	5,5	14,5
Murske 0-16 mm 90% - Biomulta 10 %	1	3,2	9,8
Murske 0-8 mm 80% - Biomulta 20 %	2,2	5,4	15,1
Murske 0-8 mm 90% - Biomulta 10 %	1	3,4	12,2
Murske 2-8 mm 80% - Biomulta 20 %	2,5	5,4	7,6
Murske 2-8 mm 90% - Biomulta 10 %	1	2,7	3,8

Taulukossa 8 esitetyt näytteiden humuspitoisuudet ovat 1-3,8 % välillä. Tulokset ovat loogiset, sillä kaikissa näytteissä, joissa biomullan osuus on 10 %, humuspitoisuus on yhden massaprosentin. 20 % biomultaa sisältävien näytteiden humuspitoisuudet ovat myös kaikissa näytteissä samaa suuruusluokkaa vaihdellen 2,1-2,3 massaprosentin välillä. 30 % biomultaa sisältävän näytteen humuspitoisuus on 3,8 massaprosenttia.

Näytteiden vesipitoisuudet vaihtelevat 2,7-9,7 massaprosentin välillä. Näytteiden vesi on peräisin seostettavien materiaalien mukana tulleesta lumesta, vedestä ja kosteudesta. Kasvualustaseoksissa käytetyt murskeet ja biomulta noudettiin tuotantolaitosten materiaalikasoista huhtikuussa, jolloin kasat olivat lumen peitossa. Materiaalit toimitettiin laboratorioon muovisissa säilytysastioissa, johon kerääntyi lunta materiaalinoton yhteydessä. Erityisesti biomulta oli hyvin kosteaa. Tämä onkin nähtävissä vesipitoisuuden tuloksissa.

Mitä enemmän näytteessä on biomultaa, sen korkeampi on näytteen vesipitoisuus. 10 % biomultaa sisältävissä näytteissä vesipitoisuus on 2,7-3,4 massaprosenttia. Erot näytteiden välillä selittyvät kasvualustan seostamisen eri ajankohdilla. Kasvualustanäytteiden seostamisessa oli noin viikon väli. Biomultaa ja mursketta säilytettiin suljetuissa säilytysastioissa, jotka eivät olleet täysin tiiviitä. Tällöin osa materiaalien kosteudesta pääsi haihtumaan lämpöisessä huoneilmassa. 20 % biomultaa sisältävien näytteiden vesipitoisuudet ovat lähellä toisiaan. Näytteiden vesipitoisuudet ovat 5,1-5,5 massaprosenttia. 30 % biomultaa sisältävän näytteen vesipitoisuus on oletetusti korkein eli 9,7 massaprosenttia. Kysäinen näytteseos valmistettiin ensimmäisenä, jolloin biomullan kosteus on ollut suurimmillaan.

Vedenpidätyskymmittausten tulos osoittaa näytteessä olevien kapillaarihuokosten määrää. Mitä suurempi näytteen vedenpidätyskyky on, sitä enemmän siinä on kapillaarihuokosia. Näytteiden vedenpidätyskykyarvot ovat 3,8-15,1 massaprosentin välillä. Teoriassa 20-30 % biomultaa sisältävien näytteiden vedenpidätyskykyarvojen tulisi olla suuremmat kuin 10 % biomultaa sisältävien näytteiden. Tämä selittyy sillä, että biomullassa on orgaanista ainesta kompostista. Orgaanisen aineksen vedenpidätyskyky on huomattavasti suurempaa kuin kivennäismaalajien. Lisäksi kasvualustaseoksessa oleva biomulta täyttää kivennäismateriaalien huokostilavuutta. Toisaalta murskeet, joissa on hienoaines, eli niin kutsuttu nollapää, mukana lisäävät vedenpidätyskykyä. Murskeiden hienoaines vähentää seosten gravitaatiohuokosten määrää ja näin ollen seoksen vedenpidätyskyky on suurempi. Teoriassa *murske 0-8 mm 80% - biomulta 20 %* ja *murske 0-16 mm 80% - biomulta 20 %* kasvualustaseosten vedenpidätyskyvyt tulisi olla korkeimmat. Tehtyjen mittausten tulokset ovat yllä esitetyn teorian mukaiset, sillä arvot ovat näytesarjan suurimmat 15,1 ja 14,5 massaprosenttia.

Saman teorian mukaan matalimmat vedenpidätyskykyarvot ovat näytteillä, jossa biomullan osuus näytteessä on vähäinen ja joissa murskeena on käytetty sepeliä, josta on seulottu halkaisijaltaan pienimmät rakeet pois. Näitä seoksia ovat *murske 2-8 mm 90% - biomulta 10 %* sekä *murske 8-16 mm 80% - biomulta 20 %*. Näiden näytteiden vedenpidätysarvot ovat tutkimussarjan pienimmät 3,8 ja 4 massaprosenttia. Tutkimustuloksista nähdään, että orgaanisen aineen prosentuaalisen osuuden kasvattaminen parantaa näytteiden vedenpidätyskykytuloksia. Kuitenkin niissä näytteissä, joissa kivennäismateriaalista on poistettu nollapää, vedenpidätyskyky jää alle 10 massaprosenttiin. Kasvillisuuden kasvun kannalta olisi kuitenkin parempi täyttää huokokset orgaanisella aineksella kuin kivennäismateriaalien hienorakeisella aineksella.

Taulukkoon 10 on koottu tutkittujen kasvualustaseosten vedenläpäisevyyden tutkimustulokset. Tulokset on esitetty kolmessa eri yksikössä muihin tutkimustuloksiin vertailun helpottamiseksi.

**Taulukko 10.** Analysoitujen kasvualustaseosnäytteiden vedenläpäisevyysmittausten tulokset kolmessa eri yksikössä.

	Vedenläpäisevyys					
	Tiiveysaste n. 100 %			Tiiveysaste n. 90 %		
	mm/vrk	mm/min	m/s	mm/vrk	mm/min	m/s
Murske 8-16 mm 70% - Biomulta 30 %	450	0,31	$5,2 \cdot 10^{-6}$		0	
Murske 8-16 mm 80% - Biomulta 20 %	600	0,42	$6,9 \cdot 10^{-6}$		0	
Murske 0-16 mm 80% - Biomulta 20 %	60	0,04	$6,9 \cdot 10^{-7}$	450	0,31	$5,2 \cdot 10^{-6}$
Murske 0-16 mm 90% - Biomulta 10 %	350	0,24	$4,0 \cdot 10^{-6}$	850	0,59	$9,8 \cdot 10^{-6}$
Murske 0-8 mm 80% - Biomulta 20 %	250	0,17	$2,8 \cdot 10^{-6}$	350	0,24	$4,0 \cdot 10^{-6}$
Murske 0-8 mm 90% - Biomulta 10 %	400	0,28	$4,6 \cdot 10^{-6}$	700	0,49	$8,1 \cdot 10^{-6}$
Murske 2-8 mm 80% - Biomulta 20 %	300	0,21	$3,4 \cdot 10^{-6}$	2200	1,53	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Murske 2-8 mm 90% - Biomulta 10 %	900	0,63	$1,0 \cdot 10^{-5}$	2600	1,81	$3,0 \cdot 10^{-5}$

Näytteiden vedenläpäisykykymittauksilla määritellään gravitaatiohuokosten määrää näytteessä. Teoriassa vedenläpäisykyky on suurinta kasvualustaseoksissa, jossa orgaanisen aineen määrä on pieni sekä joissa käytetty kivennäismateriaali on sepeliä. Tutkitut kasvualustaseosten vedenläpäisykykytulokset ovat teorian mukaiset. Kun biomullan määrä näytteissä kasvoi 10 %, pieneni vedenläpäisykyky 150-600 mm/vrk 100 % tiiveysasteisissa näytteissä. Suurin muutos on murske 2-8 mm - biomulta -kasvualustaseoksissa, 600 mm/vrk. Muiden näytteiden muutos on 150-290 mm/vrk välillä. 90 % tiiveysasteessa biomullan osuuden kasvattamisen muutokset ovat kaikilla tutkituilla näytteillä 350-400 mm/vrk.

90 % tiiveysasteessa vedenläpäisykyky vaihtelee 350-2600 mm/vrk välillä. Näytteen, joiden kivennäisaine sisältää hienoaineksen, vedenläpäisykyky on huomattavasti alhaisempi, 350-850 mm/vrk, kuin näytteillä, joiden kivennäisaineesta puuttuu alle 2 mm halkaisijaltaan olevat rakeet kokonaan. Raekooltaan 2-8 mm mursketta sisältävän näytteiden vedenläpäisykyky on 2200-2600 mm/vrk.

## 6.5 Tulosten vertailu

Tässä työssä tehtyjä kasvualustakokeiden tuloksia voidaan verrata muissa kasvualustakokeissa tehtyihin tutkimustuloksiin. Verrattavia tuloksia on melko vähän, sillä monen valmiin kasvualustatuotteen tai paikalla tehtyjen kasvualustakokeiden tuloksia ei ole julki-

sesti saatavilla. Usein tutkimukset ovat yritysten omille tuotteilleen tekemiä laboratorio-tutkimuksia, joiden tulokset luokitellaan yrityssalaisuudeksi. Suomessa julkisia kasvu-alustoille tehtäviä tutkimuksia ei ole kuin oppilaitosten lopputöissä.

Kasvualustojen vedenläpäisevyyden ja vedenpidätyskyvyn analyysimenetelmät vaihtelevat eri maissa ja jopa saman maan eri laboratorioissa. Eri laboratorioissa käytetään erilaisia tiivistys- ja mittausmenetelmiä, joten tuloksetkin poikkeavat toisistaan. [41] Mittausmenetelmien tulosten poikkeavuudesta ei ole tehty tutkimusta eikä siitä ole tietoa. Näin ollen tulokset eivät ole verrattavissa keskenään. Tulosten vertailuissa käytettävät kasvualustojen prosenttiosuudet ovat tilavuusprosentteja.

Taulukoissa 11 on esitetty kirjallisuuslähteissä esitettyjä materiaalien humuspitoisuuksia, vedenläpäisevyyden ja vedenpidätyskykymittausten arvoja. Kirjallisuudessa esitetyissä arvoissa ei ole kerrottu käytettyjä mittausmenetelmiä, jonka vuoksi suositusten vertaaminen tässä työssä saatuihin tuloksiin on haastavaa.

**Taulukko 11.** Kirjallisuudessa esitettyjä eri kasvualustojen humuspitoisuus- ja vedenpidätyskykymittausten tuloksia

	Humuspi- toisuus	Vedenlä- päisevyys	Vedenpi- dätyskyky	
	p - %	mm/vrk		Yksikkö
Turve	60 <sup>(1)</sup>		730 <sup>(1)</sup>	p - %
Turve 50 % hiekka 50 %	5 <sup>(1)</sup>	12 <sup>(1)</sup>	50 <sup>(1)</sup>	p - %
Komposti 50% hiekka 50%	8,3 <sup>(1)</sup>	240 <sup>(1)</sup>	53 <sup>(1)</sup>	p - %
Komposti	52,4 <sup>(1)</sup>		270 <sup>(1)</sup>	p - %
Nurmikkomulta PLUS -kasvualusta		245 <sup>(2)</sup>		
Viherkattojen kasvualustan suositus			> 10 <sup>(3)</sup>	p - %
Viherrakenteen kasvualustan suositus		260 <sup>(4)</sup>	>30 <sup>(4)</sup>	v - %
Saksalainen suositus viherkatoille		432 <sup>(5)</sup>	> 45 <sup>(5)</sup>	v - %
Saksalainen suositus viherkatoille/FLL	< 4 <sup>(6)</sup>		< 20 v- % <sup>(6)</sup>	v - %
New Yorkin viherkaton kasvualusta	7 <sup>(7)</sup>		37 v- % <sup>(7)</sup>	v - %
Suomalainen suositus golfkenttien kasvualustoille	1-3 <sup>(8)</sup>	>200 <sup>(8)</sup>	12-16 <sup>(8)</sup>	p - %

<sup>(1)</sup>[64], <sup>(2)</sup>[51], <sup>(3)</sup>[66], <sup>(4)</sup>[24], <sup>(5)</sup>[25], <sup>(6)</sup>[22], <sup>(7)</sup>[7], <sup>(8)</sup>[41]

Kun tässä työssä tehtyjen kasvualusta-analyysien tuloksia verrataan taulukossa 11 esitettyihin, huomataan, että yksikään näyte ei yllä Kasvualustat -kirjassa esitettyjen arvojen tasolle [64]. Nämä tulokset on esitetty yllä olevan taulukon neljällä ensimmäisellä rivillä. Näissä tutkituissa kasvualustoissa oleva kiviaineksen määrä on huomattavasti pienempi kuin tämän työn näytteissä. 50 % -50 % -kasvualustaseoksia ei käytetä viherrakentamisessa. Kasvualustat -kirjassa [64] esitettyjen tulosten mukaan sillä, onko kasvualustassa

käytetty orgaaninen aines turvetta vai kompostia, ei ole merkitystä kasvualustan vedenpidätyskykyyn. Kirjallisuudessa esitettyjen viherkattojen kasvualustojen vedenläpäisevyys ja -pidätyskyvyn suositusarvot täyttyvät tämän työn eniten vettä pidättävillä kasvualustaseoksilla.

Taulukossa 12 on esitetty kivennäismateriaalien vedenläpäisevyysarvoja. Kun verrataan arvoja tässä työssä tehtyjen kasvualustakokeiden arvoihin, nähdään että kasvualustojen vedenläpäisevyydet vastaavat pääosin hiekan vedenläpäisevyysarvoja.

**Taulukko 12.** Kivennäismaalajien vedenläpäisevyysarvot [57]

Maalaji	Vedenläpäisevyys (m/s)
Sora	$10^{-2} - 10^{-4}$
Hiekka	$10^{-4} - 10^{-6}$
Siltti	$10^{-5} - 10^{-9}$
Savi	$10^{-8} - 10^{-10}$

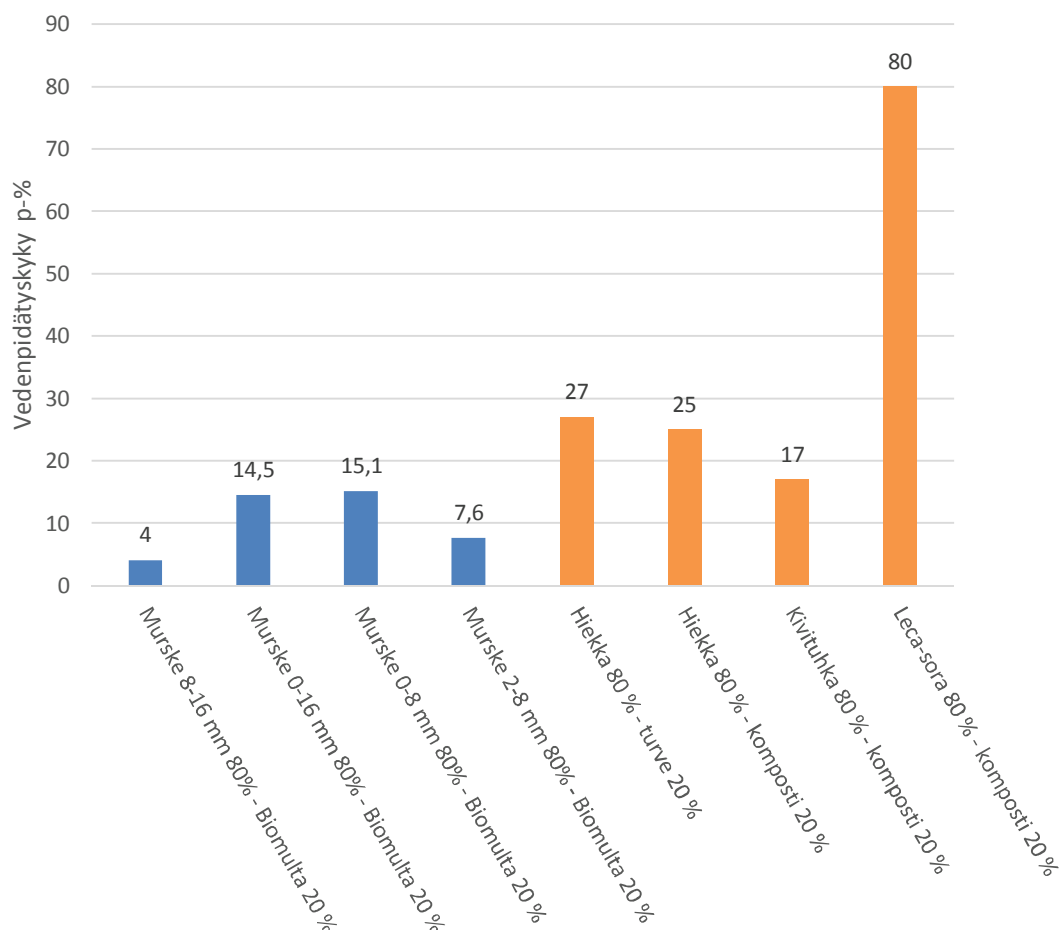
Jussi Pajula on diplomityössään tutkinut erilaisten kasvialusmateriaalien sekä niistä tehtyjen erilaisten kasvialustamateriaaliseosten humuspitoisuutta, vedenläpäisevyyttä ja vedenpidätyskykyä. Pajulan käyttämät tutkimusmenetelmät olivat jokaisen koemäärityksen osalta samanlaiset kuin mitä tässä työssä on käytetty, jonka vuoksi tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. [21] Pajulan työssä tehtyjä materiaalien tutkimustuloksia on esitetty taulukossa 13.

**Taulukko 13.** Jussi Pajulan diplomityössä tehtyjen kasvialustaseosten raaka-aineena käytettyjen materiaalien humuspitoisuus, vedenläpäisevyys- ja vedenpidätyskokeiden tulokset [52]

Näyte	Humuspi- toisuus	Vedenläpäisevyys		Vedenpidä- tyskyky
		Tiiveysaste n. 90 %		
	p -%	mm/vrk	mm/min	p -%
Kasvuturve 1-12 mm	59,9			730
Helsingin veden kompostimulta 0-10 mm	52,4			270
Kasvualustahiekka 0-2 mm	0,4			18,5
Kivituhka 0-5 mm	0,3			16,4
Lecasoramurske 0-4 mm				85,3

Pajulan tutkimustuloksista huomataan, että vaikka turpeen ja kompostimullan humuspitoisuus on samaa luokkaa, on näytteiden vedenpidätyskyvyssä suuri ero. Pajulan tutkimusten mukaan turpeen vedenpidätyskyky on yli kaksinkertainen kompostimultaan verrattuna. Pajulan yksittäisten materiaalien vedenpidätyskyvyistä mielenkiintoista ja tämän

työn kannalta merkittävää on kivituhkan ja leca-soramurskeen vedenpidätyskykyjen eroavaisuus. Vaikka molempien tutkittujen materiaalien raekokojakauma on sama, on leca-soramurskeen vedenpidätyskyky yli viisinkertainen kivituhkaan nähden. Tuloksella on merkitystä, kun mietitään nurmiradan koerakenteissa käytettäviä kasvualustamateriaalien materiaalisältöä. Tässä työssä ja Pajulan diplomityössä tehtyjen vedenpidätyskykymittausten tuloksia on esitetty kuvassa 21.

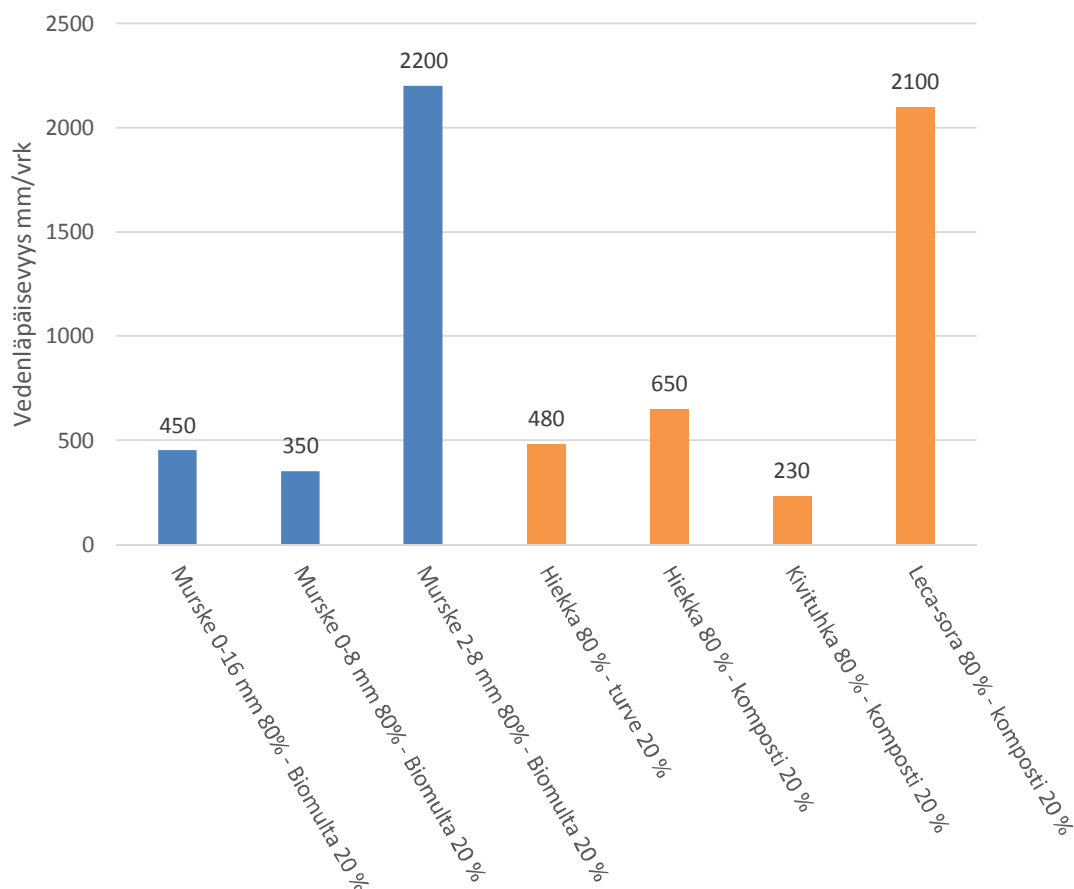


**Kuva 21.** Tässä työssä tehtyjen ja Pajulan diplomityön kasvualustatutkimusten vedenpidätyskykymittausten tulokset. Tässä työssä tehtyjen mittausten tulokset on esitetty sinisellä ja Pajulan tulokset oransilla pylväillä. [52]

Pajulan tuloksissa kaikkien näytteiden vedenpidätyskyky on suurempi kuin tässä työssä tutkittujen materiaalien. Tämä selittyy sillä, että Pajulan käyttämä kiviaines on raekooltaan pienempää kuin tämän työn kasvualustoissa käytetyt. Parempia vedenpidätyskykyarvoja selittää myös Pajulan näytteiden suurempi humuspitoisuus. Kuten tämän työn teoriaosassa on kerrottu, orgaaninen aine pidättää vettä kiviaineksia paremmin. Mitä enemmän kasvualustaseosnäytteessä on orgaanista ainesta, sitä suurempi on näytteen vedenpidätyskyky ja toisaalta taas sitä pienempi on vedenläpäisevyys. Tämän tulostevertailun perusteella voidaan todeta, että pienempirakeista kivennäismaalajia käytettäessä kapillarihuokosten määrä kasvualustassa kasvaa.



Kuvassa 22 on vertailtu tässä työssä tehtyjen ja Pajulan diplomityön vedenläpäisykyky-mittausten tuloksia. Tulokset edustavat näytteen 90 % tiiviysasteella saatuja tuloksia.



**Kuva 22.** Tässä työssä tehtyjen ja Pajulan diplomityön kasvualustatutkimusten vedenläpäisymittausten tulokset 90 % tiiveysasteessa. Tässä työssä tehtyjen mittausten tulokset on esitetty sinisellä ja Pajulan tulokset oranssilla pylväillä. [52]

Kun Pajulan vedenläpäisevyystutkimustuloksia verrataan tässä työssä tehtyihin, huomataan tuloksissa enemmän samankaltaisuutta. Tässä työssä tehtyjen laboratoriokokeiden murske 2-8 mm 80%-biomulta 20% -seoksen vedenläpäisevyys oli lähes sama kuin Pajulan työssä leca-sora 80%-komposti 20% -näytteen. Eroa näiden välillä oli ainoastaan 100 mm/vrk. Myös tämän työn näytteiden murske 0-8 mm 80%-biomulta 20% ja murske 0-16 mm 80%-biomulta 20% sekä Pajulan kivituhka 0-5mm 80 % - komposti 20 %, hiekka 80 % - komposti 20 % ja hiekka 80 % - turve 20 % näytteiden vedenläpäisevyysarvot ovat samaa suuruusluokkaa. [52] Tulosten perusteella käytettävällä kivennäismaalla ei ole suurta merkitystä materiaalin vedenläpäisykykyyn, jos se on karkearakeista.

Kirsi Strandén on tutkinut diplomityössään erilaisten turpeiden, mullan, hiekan ja niistä tehtyjen erilaisten kasvualustaseosten vedenläpäisevyys- ja vedenpidätyskyky-mittausten tuloksia. Näytteiden vedenläpäisevyyden mittaamiseen on käytetty samaa vakiopainemennetelmää kuin mitä tämän työn tutkimuksissa on käytetty. Strandénin työssä vedenpidätyskyky on mitattu punnitsemalla koeylinteriin asetettua, vedellä kyllästettyä näytettä

tasaisin väliajoin siihen saakka, kunnes punnitustulokset tasaantuivat. Tämän jälkeen näyte kuivattiin ja punnittiin ja näiden tulosten avulla laskettiin näytteen vedenpidätyskyky. Tämä tutkimusmenetelmä poikkeaa tämän työn tutkimusmenetelmästä, jonka vuoksi tulokset eivät ole suoraa verrattavissa keskenään. [70] Strandénin työssä käyttämien materiaalien humuspitoisuus-, vedenläpäisevyys- ja vedenpidätyskykymittausten tulokset on esitetty taulukossa 14.

**Taulukko 14.** Erilaisten hiekkojen, turpeiden sekä hiekka+TerraCottem®-seoksen humuspitoisuus-, vedenläpäisevyys- ja vedenpidätyskykymittausten tulokset [70]

Näyte	Humuspitoisuus	Vedenläpäisevyys, tiiviysaste 100 %		Vedenpidätyskyky
	p- %	mm/vrk	mm/min	p -%
Turve 1	95	4650	3,2292	375
Turve 2	92	4075	2,8299	540
Turve 3	90	4050	2,8125	395
Turve 4	94	4990	3,4653	500
Turve 5	72	6200	4,3056	535
Turve 6	89	6550	4,5486	180
Hiekka 1		1370	0,9514	10
Hiekka 2		300	0,2083	10
Hiekka 3		1700	1,1806	13
Hiekka 4		10	0,0069	15
Hiekka 1 + TerraCottem		2650	2,3246	20
Hiekka 2 + TerraCottem		250	0,2193	21

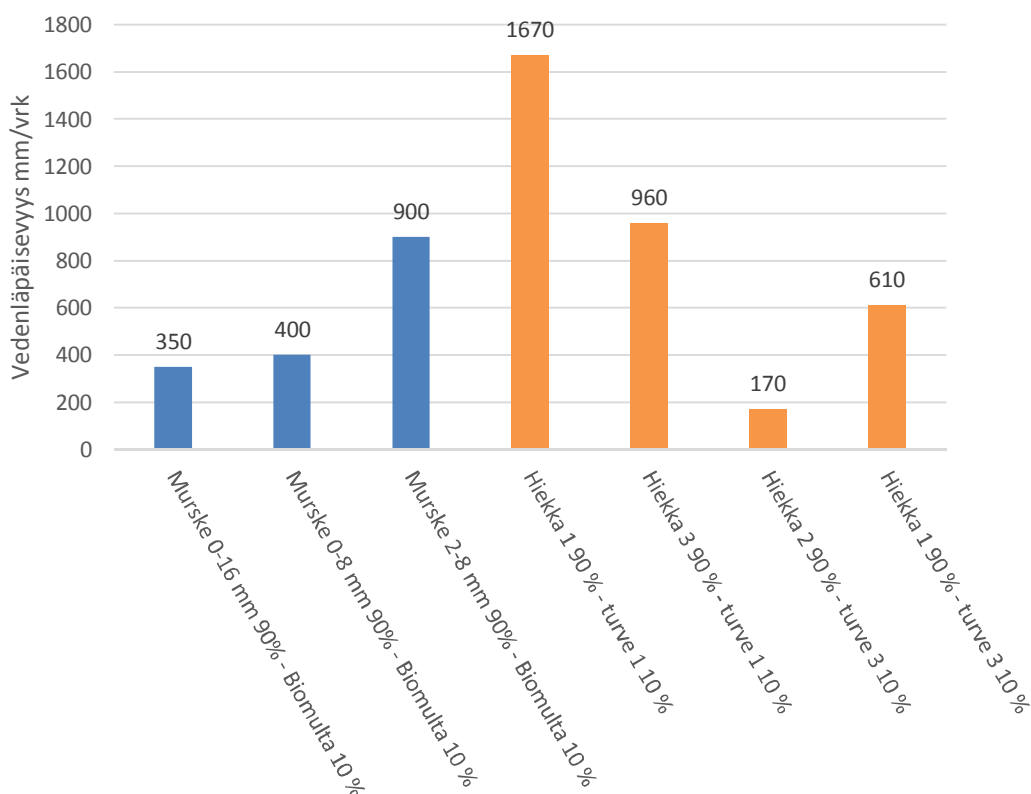
Tuloksista nähdään, että tutkimuksessa käytetyissä turpeissa ja hiekoissa on hyvin paljon eroavaisuuksia, etenkin materiaalien vedenläpäisevyysarvoissa. Tuloksissa huomio kiinnittyy erityisesti TerraCottemia® sisältäviin näytteisiin ja sen verrokkihiekkoihin, jossa ei ole mukana TerraCottemia®. Tulosten perusteella TerraCottem parantaa vedenpidätyskykyä, mikä on TerraCottem®-polymeerin käyttötarkoituksenakin. Molemmissa näytteissä TerraCottem® kasvatti näytteiden vedenpidätyskykyä noin 10 %. TerraCottem®:lla on tutkimuksen mukaan myös vedenläpäisevyyttä kasvattava vaikutus. Tämä vaikutus on huomattavasti suurempi hiekka 1- näytteellä kuin hiekka 2 -näytteellä. Käytetyn TerraCottemin® määrää ei ole kerrottu, joten tuloksia ei voida vertailla kansainvälisiin tutkimustuloksiin.

Taulukossa 15 on esitetty Strandénin tekemien eräiden kasvualustaseosten vedenläpäisevyys- ja vedenpidätyskykymittausten tuloksia.

**Taulukko 15.** Erilaisten hiekka 85 % - turve 15 % -kasvialustaseosten vedenläpäisevyys- ja vedenpidätyskykymittausten tuloksia. [70]

Näyte	Vedenläpäisevyys, tiiviyysaste 100 %		Vedenpidätyskyky
	mm/vrk	mm/min	p -%
Hiekka 1 85 % - turve 1 15 %	800	0,70	14
Hiekka 2 85 % - turve 1 15 %	165	0,14	15
Hiekka 3 85 % - turve 1 15 %	1130	0,99	17
Hiekka 1 85 % - multa 1 15 %	120	0,10	9

Taulukon tuloksista nähdään, että mullan vedenpidätyskyky on heikompaa kuin turpeen. Tuloksista nähdään myös, että kasvialustassa käytettävällä hiekalla ei ole juurikaan merkitystä kasvialustan vedenpidätyskykyyn. Kasvialustan vedenläpäisevykykyyn käytettävällä kivennäismateriaalilla on suuri merkitys. Tässä työssä tehtyjen kasvialustojen vedenpidätyskykytulokset ovat pienempiä tai saman tasoisia kuin taulukossa 15 esitetyt arvot. Vedenläpäisevyysarvot ovat saman suuruisia, mutta molempien tutkimusten tutkimustulosten arvoväli on laaja.

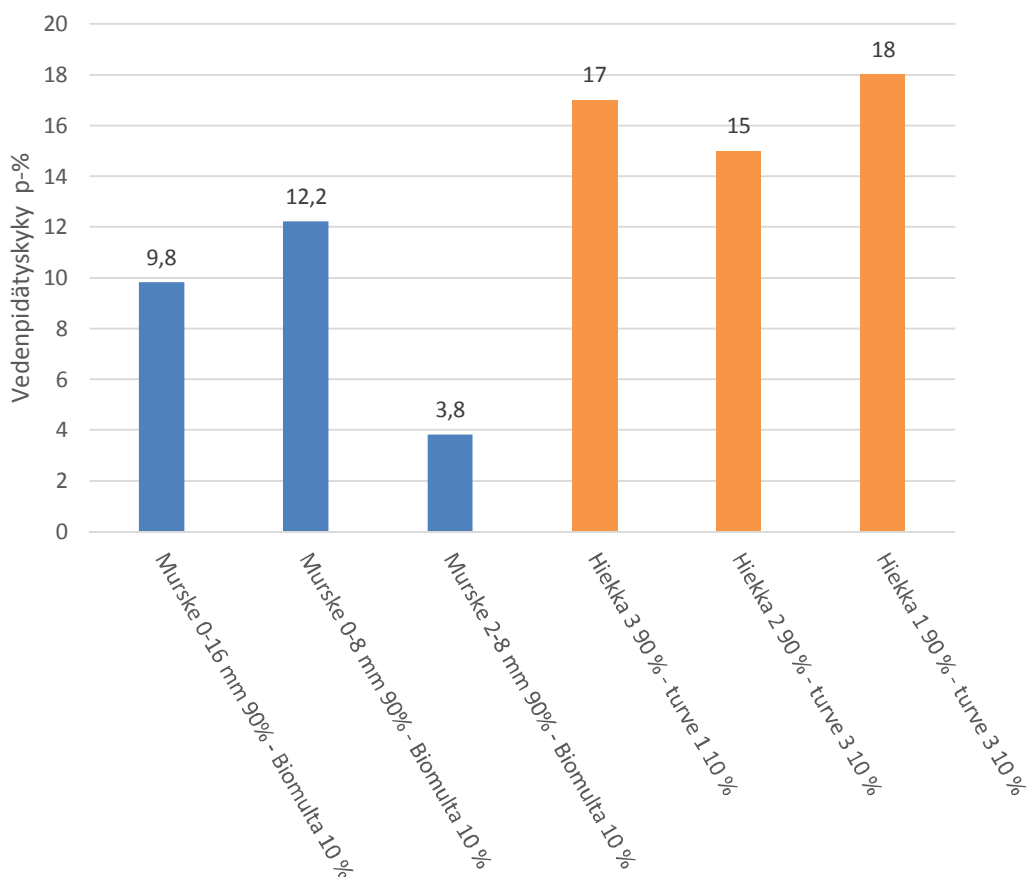


**Kuva 23.** Tässä työssä tehtyjen ja Strandénin diplomityön kasvialustatutkimusten vedenläpäisymittausten tulokset 100 % tiiveysasteessa. Tässä työssä tehtyjen mittausten tulokset on esitetty sinisellä ja Strandénin tulokset oransilla pylväillä. [70]

Kuvassa 23 on esitetty tässä työssä ja Strandénin diplomityössä tehtyjen vedenläpäisykykymittausten tuloksia 100 % tiiveysasteessa. Kuvassa on vertailtu molempien tutkimusten kasvualustoja, joissa orgaanisen aineksen määrä on 10 %. Strandén on käyttänyt kasvualustaseoksissaan orgaanisena aineksena erilaisia turpeita, kun tässä työssä orgaaninen aines oli kompostia. Strandénin kasvualustaseoksissa kivennäismateriaalina on hiekka. [70]

Strandénin tuloksissa materiaalien vedenläpäisyarvot vaihtelevat 170 - 1670 mm/vrk välillä. Tulosten mukaan hiekka 1:n lisätty turve parantaa vedenläpäisevyysarvoa 300 mm/vrk. Muissa näyteseoksissa turpeen lisääminen hiekkaan pienentää vedenläpäisevyyttä 130-760 mm/vrk. [70] Tuloksia tarkastellessa on aiheellista pohtia, onko *hieka* 1 90% - *turve* 1 10 % -näytteen vedenläpäisymittaus onnistunut vaaditulla tavalla. Tämän työn kasvualustamateriaalien, joissa on 10 % biomultaa, vedenläpäisyarvot vaihtelevat 350 - 900 mm/vrk välillä. Molempien tutkimusten tuloksissa on suurta hajontaa riippuen käytettävästä kivennäismateriaalista. Tutkimusten perusteella kasvualustassa käytettävällä hiekalla on suurempi merkitys kuin käytettävällä sepelillä tai murskeella. Huomionarvoista on, että kivennäismaalajin maksimi raekoko ei vaikuta niin suuresti vedenläpäisykykyyn kuin kivennäismateriaalin hienoaineksen määrä.

Kuvassa 24 on esitetty tässä työssä ja Strandénin diplomityössä tehtyjen vedenpidätyskykymittausten tuloksia. Strandénin vedenpidätyskykymittausten tulokset ovat jokaisella näytteellä paremmat kuin tässä työssä tehtyjen mittausten tutkimustulosten parhaimmat vedenpidätyskykyarvot. Strandénin näytteiden vedenpidätyskykyarvot ovat 9 - 18 massaprosentin välillä, kun tässä työssä tehtyjen analyysien perusteella vedenpidätyskyky on 3,8 - 15,1 massaprosentin välillä. [70] Tulokset saattavat selittyä Strandénin työssä käytetyllä hienompijakoisella kivennäisaineella. Tulee kuitenkin huomioida, että mittausmenetelmät poikkeavat toisistaan, jonka vuoksi tulokset eivät ole suoraa vertailukelpoisia.



**Kuva 24.** Tässä työssä tehtyjen ja Strandénin diplomityön kasvualustatutkimusten vedenpidätyskykymittausten tulokset. Tässä työssä tehtyjen mittausten tulokset on esitetty sinisellä ja Strandénin tulokset oranssilla pylväillä. [70]

Kasvualustoille tehtyjä ulkomaalaisia tutkimuksia on jonkin verran. Nurmikoille tehtäviä kasvualustatutkimuksia on melko vähän. Useissa tutkimuksissa on tutkittu kasvien kasvua kuvaavia ominaisuuksia, kuten kasvun pituutta ja lehtien pinta-alaa, eikä niinkään kasvualustan ominaisuuksia. Erityisesti kasvualustojen fysikaalisten ominaisuuksien tutkiminen on hyvin vähäistä. Kasvualustoista ulkomaalaisissa tutkimuksissa tutkitaan usein ioninvaihtokapasiteettia ja tärkeimpien ravinteiden pitoisuuksia. Joissain tutkimuksissa on tutkittu myös materiaalien vedenpidätyskykyä. Vedenläpäisykyvyn tutkiminen on vielä harvinaisempaa.

Tämän tutkimuksen kannalta parhaiten vertailtavia tuloksia ovat viherkatoille ja urheilunurmikoille tehdyissä kasvualustatutkimuksissa. Erityisesti viherkattojen kasvualustoista on tehty kansainvälistä julkista tutkimusta jonkin verran. Näitä tuloksia on esitetty taulukossa 16. Myös biohiilen käytöstä erilaisissa kasvualustoissa on tehty viime vuosina

julkista tutkimusta. Näiden tutkimusten vedenpidätyskykymittausten tuloksia on esitetty taulukossa 17.

**Taulukko 16.** Kansainvälisten kasvualustatutkimusten humuspitoisuus, vedenpidätyskyky- ja vedenläpäisykykymittausten tuloksia

Näyte	Humus-pitoisuus	Yk-sikkö	Vedenpidä-tyskyky	Yk-sikkö	Vedenlä-päisykyky	Yk-sikkö
Perliitti 0-8 mm-kasvualustat (uusi ja kierrätetty perliitti)			5,67 - 7,60 <sup>(1)</sup>	til -%		
Hiekka 0-2 mm			0,239 <sup>(2)</sup>	cm/cm	889 <sup>(2)</sup>	mm/h
Hiekka + TerraCottem 300 g/m <sup>3</sup>			0,239 <sup>(2)</sup>	cm/cm	698 <sup>(2)</sup>	mm/h
Hiekka + TerraCottem 600 g/m <sup>3</sup>			0,248 <sup>(2)</sup>	cm/cm	646 <sup>(2)</sup>	mm/h
Hiekka + TerraCottem 900 g/m <sup>3</sup>			0,264 <sup>(2)</sup>	cm/cm	695 <sup>(2)</sup>	mm/h
Hiekka 90 % -Komposti 10 %			0,285 <sup>(2)</sup>	cm/cm	677 <sup>(2)</sup>	mm/h
Hiekka 80 % -Komposti 20 %			0,287 <sup>(2)</sup>	cm/cm	664 <sup>(2)</sup>	mm/h
Tiilimurska 5 -14 mm 90 % -komposti 10 %			23,1 <sup>(3)</sup>	til -%		
Tiilimurska 5 -14 mm 80 % -komposti 20 %			24,7 <sup>(3)</sup>	til -%		
Tiilimurska 6 -15 mm 90 % -komposti 10 %			9,9 <sup>(3)</sup>	til -%		
Tiilimurska 5 -14 mm 80 % -komposti 20 %			12,3 <sup>(3)</sup>	til -%		
Tiilimurska 0-8 mm 80 % - komposti 20 %	3,5 <sup>(4)</sup>	p -%	24,1 <sup>(4)</sup>	til -%		
Kattotiilimurska 0-8 mm 80 % - komposti 20 %	2,4 <sup>(4)</sup>	p -%	29,8 <sup>(4)</sup>	til -%		
Tiilimurska 0-20 mm 70 % - komposti 30 %			39,7 <sup>(5)</sup>	til -%		
Tiilimurska 8 -15 mm 70 % - komposti 30 %			32,5 <sup>(5)</sup>	til -%		
Tiilimurska 5 -14 mm 70 % - komposti 30 %			34,4 <sup>(5)</sup>	til -%		
Tiilimurska 2-5 mm 70 % - komposti 30 %			25,9 <sup>(5)</sup>	til -%		
Tiilimurska 4-15 mm 70 % - komposti 30 %			25,5 <sup>(5)</sup>	til -%		
Tiilimurska 0-4 mm 70 % - komposti 30 %			28,2 <sup>(5)</sup>	til -%		
Kattotiilimurska 0-20 mm 70 % - komposti 30 %			25,3 <sup>(5)</sup>	til -%		
Kattotiilimurska 0-6 mm 70 % - komposti 30 %			31,4 <sup>(5)</sup>	til -%		
Kattotiilimurska 6-15 mm 70 % - komposti 30 %			20,6 <sup>(5)</sup>	til -%		
New Yorkin viherkattokasvualusta	7 <sup>(6)</sup>	p -%	37 <sup>(6)</sup>	til -%		
Helsingin niittykasvustolliset viherkatot	7,14-21,92 <sup>(7)</sup>	p -%	67,02-70,59 <sup>(7)</sup>	%		

<sup>(1)</sup>[17], <sup>(2)</sup>[28], <sup>(3)</sup>[18], <sup>(4)</sup>[19], <sup>(5)</sup>[20], <sup>(6)</sup>[7], <sup>(7)</sup>[61]

**Taulukko 17.** Biohiiltä sisältävien kasvualustojen vedenpidätyskykymittausten tulokset

Näyte	Vedenpidätyskyky	Yksikkö
Turve (espanjalainen)	72,99 <sup>(1)</sup>	%
Biohiili 300°C tuotettu	17,09 <sup>(1)</sup>	%
Biohiili 500°C tuotettu	35,26 <sup>(1)</sup>	%
Turve 75 % - Biohiili 300°C tuotettu 25 %	38,63 <sup>(1)</sup>	%
Turve 75 % - Biohiili 500°C tuotettu 25 %	51,73 <sup>(1)</sup>	%
Kookoskuitu 75 % - Biohiili 25 %	3090 <sup>(2)</sup>	g vettä /kg seosta
Kookoskuitu 90 % - Biohiili 10 %	4120 <sup>(2)</sup>	g vettä /kg seosta
Kompostoitu männyn kuori 80 % - Biohiili 20%	51 <sup>(3)</sup>	%
Kompostoitu männyn kuori 60 % - Biohiili 40%	41 <sup>(3)</sup>	%
Kompostoitu männyn kuori 80 % - turve 20%	58 <sup>(3)</sup>	%

<sup>(1)</sup>[48], <sup>(2)</sup>[16], <sup>(3)</sup>[37]

Ulkomaalaisten tutkimustulosten vertailun haasteena on tulosten erilaiset kasvualustaseosten materiaalit, tulosten yksiköt ja tutkimusmenetelmät. Ulkomaalaisissa vedenpidätyskokeissa tulokset ilmoitetaan tilavuusprosentteina tai muissa yksiköissä. Osassa tutkimustulokset on kerrottu prosentteina määrittelemättä tarkemmin, mistä prosenteista on kyse. Massaprocentteina vedenpidätyskykytuloksia ilmoitetaan ainoastaan suomalaisissa tutkimuksissa. Varsinkin vedenpidätyskokeita tehdään useilla erilaisilla laitteistoilla niin Suomessa kuin ulkomailla. Eri laitteistoilla ja mittausten menetelmillä saadut tulokset eivät ole suoraa verrannollisia keskenään.

Kasvualustoissa pyritään käyttämään mahdollisimman paikallisia tuotteita. Tämän vuoksi kansainvälisissä tutkimuksissa käytetyt materiaalit poikkeavat etenkin orgaanisissa aineksissa. Myös kivennäismateriaalin ja turpeen ominaisuudet ovat hyvin paljon toisistaan poikkeavat. Tämän vuoksi tutkimustulosten keskinäinen vertailu on haastavaa tai niistä ei saada käytäntöön soveltuvia tuloksia. Useissa tutkimuksissa ei ole kerrottu kasvualustatuotteiden tarkkaa materiaalisältöä tai seossuhteita.

Sekä tässä tehtyjen ja vertailututkimusten perusteella voidaan tehdä joitain johtopäätöksiä. Kasvualustassa käytetyllä orgaanisella materiaalilla on jonkin verran merkitystä kasvualustan vedenläpäisyyteen ja vedenpidätyskykyyn. Nykyisin kompostin käyttö kasvualustoissa alkaa korvata turpeen käyttöä ympäristönäkökohtien vuoksi. Suurempi vaikutus kasvualustan vedenläpäisyyteen ja vedenpidätyskykyyn on käytetyn orgaanisen aineksen määrällä kuin laadulla. Mitä suurempi on orgaanisen aineksen osuus, sitä parempi vedenpidätyskyky kasvualustalla on. Suuri vaikutus vedenläpäisy- ja vedenpidätyskykyyn on käytettävällä kivennäismateriaalilla. Mitä enemmän materiaalissa on hienoaainesta ja mitä pienempää raekokoa materiaali on, sen suurempi vedenpidätyskyky on. Sen sijaan suuri raekoko ja pienempi hienoaineksen osuus lisäävät vedenläpäisykykyä.

## 7. NURMIRADAN KOERAKENTEET

### 7.1 Prosessin kuvaus

Tampereen raitiotien nurmiradan päällysrakenne poikkeaa ratarakenteeltaan ja kuivatusratkaisuiltaan muualla maailmassa käytetyistä rakenneratkaisuista. Yhtenäinen kiintolaatta ilman reikärakenteita, kiintolaatan alla oleva routaeristyslevy sekä laattojen välinen keskialueen kuivatusratkaisu luovat kokonaan uudenkaltaisen kasvu ympäristön nurmikko. Lisäksi nurmiradan nurmikon talvehtimisolosuhteet poikkeavat suuresti normaalien viheralueiden talvehtimisolosuhteista. Suomessa ei ole olemassa samankaltaisia kohteita, joista saatuja tietoja voitaisiin hyödyntää tähän kohteeseen kasvualusta- ja nurmiksiementuotteita valittaessa. Vertailukelpoista tutkimustietoa aiheesta ei ole olemassa tai sitä ei ole saatavilla. Pohjoisen sijaintinsa vuoksi muualla Euroopassa käytettyjä kasvualusta- ja nurmikkoratkaisuja ei voida suoraan soveltaa Tampereella.

Edellä mainittujen syiden perusteella suunnitteluprosessin alussa todettiin, että hankkeessa rakennetaan nurmiradan koerakenteita Sammonkadulle. Koerakenteiden rakentamista puolsi myös rakentamisaikataulu, joka mahdollistaa koerakenteiden rakentamisen autenttiseen ympäristöön ensimmäisten rakennettujen nurmiradan kiintolaattojen päälle. Nurmiraan kiintolaattoja rakennetaan vuonna 2018. Kasvualustat ja nurmet rakennetaan ja kylvetään vuonna 2019 tai 2020. Nurmiraan koerakenteet rakennetaan kesäkuussa 2018.

Koerakenteista saatavien tulosten avulla voidaan tehdä lopullinen päätös nurmiradan päällysrakenteessa käytettävistä kasvualustamateriaaleista ja nurmiksiemenseoksesta. Koerakenteiden tarkoituksena on löytää mahdollisimman korkeatasoiset, kohteeseen sopivimmat sekä kustannustehokkaimmat kasvualustat ja nurmiksiemenseokset.

Suunnitteluprosessissa kiintolaattaratkaisun suunnittelun ja kiintolaattavalinnan jälkeen alettiin kartoittaa mahdollisia rakenteessa käytettäviä kasvualustamateriaaleja. Hankkeen kehitysvaiheessa tilaajan edustaja on selvittänyt eräältä kasvualustavalmistajalta heidän mielipiteitään kohteessa käytettävistä kasvualustatuotteista. Koerakennesuunnitelman aikana yhteistyötä yrityksiin ja käytettävien tuotteiden suunnittelua laajennettiin siten, että keskusteluja käytiin useiden eri kasvualusta- ja siemenseostoimittajien kanssa. Lopulliset koerakenteissa käytettävät tuotteet valikoituivat hankkeelle tehtyjen laboratoriokokeiden ja eri kasvualustavalmistajien oman tuotekehityssuunnittelun sekä heidän kanssa käytyjen keskustelujen ja neuvottelutulosten kautta.

Nurmiraan päällysrakenteen suunnittelun edetessä määriteltiin ne tiedot, jotka olivat tärkeitä lopullisten tuotevalintojen kannalta ja joita koerakenteista halutaan saada. Näitä



ovat nurmikon kasvutahti, nurmikon kasvutiheys, kastelutiheys, leikkaustiheys, nurmikon talvenkesto, rakenteen kantavuus ja nurmikon sekä kasvualustan kulutuskestävyys. Koerakenteet halutaan pitää selkeinä, helposti dokumentoitavina ja vertailtavana.

Tärkeä osa koerakenteita on koealoista saatavat ja kerättävät tiedot sekä koealojen keskinäinen vertailu. Koealojen määrä haluttiin rajata, jotta koerakenteista saatavat tulokset olisivat selkeät ja niiden avulla pystyttäisiin tekemään lopulliset päätökset nurmiradassa käytettävissä tuotteista. Koerakenteiden ensimmäisenä tavoitteena on palvella Tampereen raitiotie -hanketta. Tämän vuoksi koerakenteista jätettiin pois kasvualustatuotteita ja kasvualustarakenteissa käytettäviä rakenteita, joiden käyttö poissuljettiin jo edellisissä suunnitteluvaiheissa. Poisjäännin syitä olivat joko taloudelliset ja sopimustekniset syyt sekä tuotteiden tarpeettomuus suunnitellussa päällysrakenteessa. Tämän kaltaisia koerakenteista poisjätettyjä rakenteellisia ratkaisuja ovat nurmikenno ja salaojamatto. Kasvualustatuotteista koerakenteista pois jäi biohiiltä sisältävä kasvualusta.

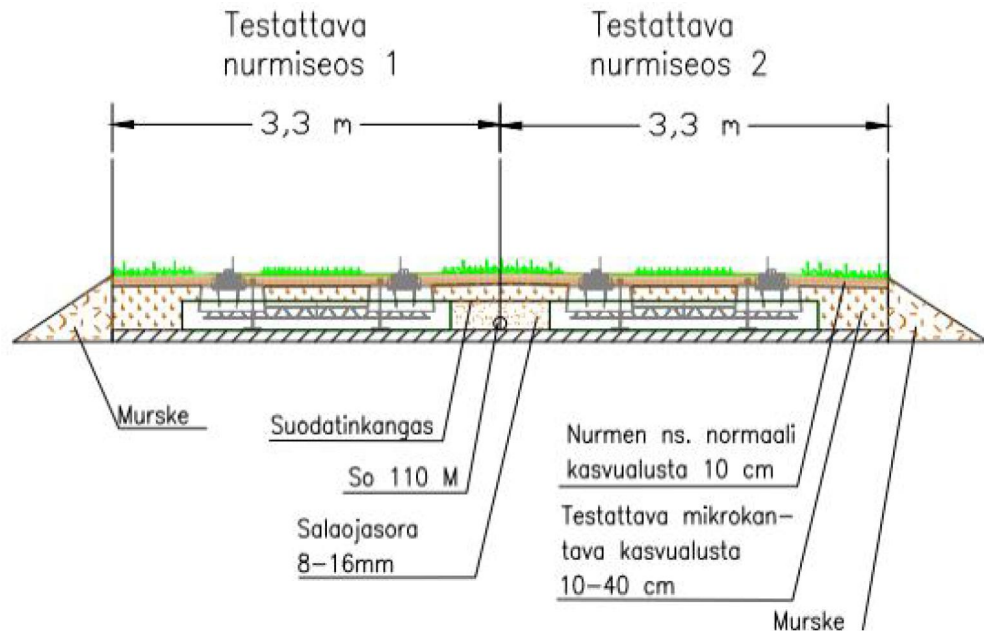
## **7.2 Koerakenne-, rakennus-, ja hoitosuunnitelma**

Koerakenteiden vertailtavuuden vuoksi koealoissa päädytään yhtenäiseen alueeseen, jossa koealoja ei erikseen rajata vaan ne ainoastaan merkitään maastoon selkeästi. Selkeän rakenteen säilyttämiseksi sama testattava nurmikon siemenseos kulkee raiteen suuntaisesti sekä testattavat kasvualustamateriaalit kulkevat radan poikittaissuunnassa molempien raiteiden päällä. Koerakenteen koalueiden asemakuva käytettyine materiaaleineen on esitetty liitteessä C.

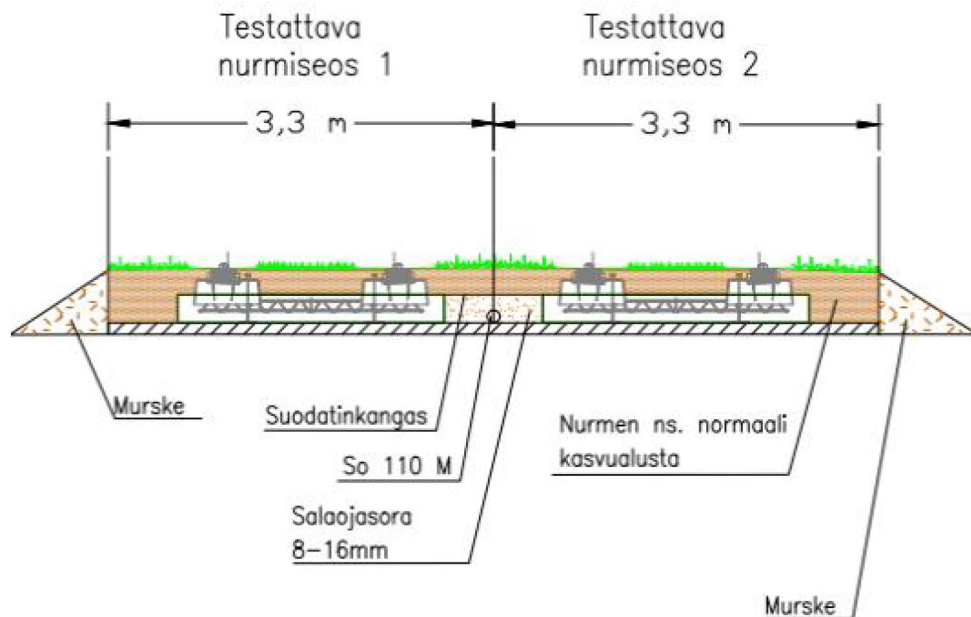
Koerakenteissa halutaan tutkia niitä kasvuolosuhteita, joista puuttuu pohjamaakosketus. Tämän vuoksi koerakenteiden kokonaisleveydeksi määritetään routalevyjen peittämä ala, eli 6,6 metriä. Routalevyn päällä ovat molemmat nurmiradan raiteet, joten yhden koealan leveys on 3,3 metriä. Routalevyn ulkopuolella kasvualustapaksuudet ovat riittävät ja kuivatus ei ole niin haasteellinen, koska kasvualustan läpi suotautuva vesi pääsee vapaasti kulkeutumaan alusrakennekerrokseen ja syväsalaojaan. Ensimmäisten rakennettujen nurmiradan kiintolaattojen yhteispituus on 47 m, mikä asettaa reunaehdon koerakenteiden pituudelle. Yhden koealan pituus haluttuun rajata 5-10 metrin pituiseksi. Lopullinen testattavien kasvualustatuotteiden määrä rajautuu kuuteen, joten yhden koealan pituus on 8 metriä. Näin ollen koerakenne koostuu kahdestatoista 3,3 metrin levyisestä ja 8 metrin pituisesta koealasta. Jokainen koeala on numeroitu dokumentoinnin helpottamiseksi.

Koealojen tyyppipoikkileikkaukset on esitetty kuvissa 25 ja 26. Kuvassa 25 on esitetty niiden koealojen poikkileikkaus, jossa kasvualusta koostuu kahdesta eri kasvualustatuotteesta eli normaalista ammattikäyttöön tarkoitettusta nurmikon kasvualustamateriaalista sekä testattavasta mikrokantavasta kasvualustasta. Kuvassa 26 koko kasvualustakerros koostuu normaalista ammattikäyttöön tarkoitettusta nurmikon kasvualustamateriaalista. Koerakenteen rakenteellinen ratkaisu on samanlainen kuin lopullisessakin nurmiradan ra-

kenteessä. Nurmiraan kiintolaattojen välissä kulkee routalevyn päällä salaoja ja kiintolaattojen väli täytetään 8-16 mm sepelillä. Sepelin ja kasvualustakerroksen väliin asennetaan suodatinkangas, jotta kasvualustan hienoaines ei kulkeudu salaojasepeliin. Koerakenteiden reunat tuetaan mursketuennalla, jotta koealat pysyvät halutussa 3,3 metrin leveydessä.



**Kuva 25.** Koerakenteen rakenteellinen periaatepoikkileikkaus 1-2 ja 5-12 koealoilla.



**Kuva 26.** Koerakenteen rakenteellinen periaatepoikkileikkaus koealoilla 3-4.

Koerakenteissa testataan kahta erilaista nurmikonsiemenseosta sekä kuutta erilaista kasvualustatuotetta. Kasvualustatuotteista viisi ovat mikrokantavia kasvualustatuotteita ja yksi normaalia ammattikäyttöön tarkoitettua nurmikon kasvualustaa. Jokaisessa koelaudassa on päälimmäinen 10 cm kasvualusta samaa nurmikon normaalia tuotteistettua kasvualustaa, jotta testattavien mikrokantavien kasvualustatuotteiden tulokset eivät vaihtelee päällyskasvialustakerroksen perusteella. Luettelo käytettävistä materiaaleista koaloittain on esitetty taulukossa 18.

**Taulukko 18.** Koerakenteissa käytettävät materiaalit koeruuduittain

Koelan nro	Nurmikonsiemenseos	Testattava kasvialustaseos
1	Nadat 80 %, Niittynurmikka 20 %	Leca-mursketta ja tiilisepeä sisältävä -kasvialusta
2	Nadat 50 %, Niittynurmikka 50 %	Leca-mursketta ja tiilisepeä sisältävä -kasvialusta
3	Nadat 80 %, Niittynurmikka 20 %	Normaali nurmen teollinen kasvialusta
4	Nadat 50 %, Niittynurmikka 50 %	Normaali nurmen teollinen kasvialusta
5	Nadat 80 %, Niittynurmikka 20 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 8-16 mm + TerraCottem
6	Nadat 50 %, Niittynurmikka 50 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 8-16 mm + TerraCottem
7	Nadat 80 %, Niittynurmikka 20 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 8-16 mm
8	Nadat 50 %, Niittynurmikka 50 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 8-16 mm
9	Nadat 80 %, Niittynurmikka 20 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 16-32 mm + TerraCottem
10	Nadat 50 %, Niittynurmikka 50 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 16-32 mm + TerraCottem
11	Nadat 80 %, Niittynurmikka 20 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 16-32 mm
12	Nadat 50 %, Niittynurmikka 50 %	Mikrokantava kasvialusta, raekoko 16-32 mm

Koerakenteiden rakentaminen aloitetaan laattojen välisellä kuivatusrakenteiden sekä koerakenteiden murskereunatukien rakentamisella. Tämän jälkeen aloitetaan kasvialustatuotteiden levittäminen ja tiivistäminen. Testattavat kasvialustatuotteet levitetään siten, että kaksi vierekkäistä koelaudaa rakennetaan yhtä aikaa, jolloin testattava kasvialustatuote levitetään kerralla molemmille koaloille. Mikrokantavat kasvialustatuotteet tiivistetään noin 80 kg maantiivistäjällä. Koaloilla 3 ja 4, jotka koostuvat ainoastaan normaalista nurmikon tuotteistetusta kasvialustasta, pohjakasvialustakerroksen tiivistys tehdään kaviinkoneen kauhalla painamalla. Kaikkiin koaloihin rakennetaan ensin alimmainen kasvialustakerros, jonka paksuus vaihtelee 100-350 mm välillä. Tämä kasvialustakerros

koostuu testattavasta kasvualustasta. Tämän jälkeen kaikille koealoille levitetään 10 cm kerros nurmikon normaalia tuotteistettua kasvualustaa, joka tiivistetään kaivinkoneen kauhalla painamalla.

Kasvualustan levityksen ja tiivistämisen jälkeen kylvetään testattavat nurmikonsiemen-seokset. Koska kylvettävä alue on suhteellisen pieni, tehdään kylvö käsikylvönä. Kylvössä siemenmäärä pyritään pitämään Infra RYL:n A2 -luokan nurmikon määritelmän mukaisesti 2,5 kg aarille. [29] Kylvön jälkeen pinta harataan puutarhaharavalla sekä jyrtetään nurmikkojyrrällä. Koealojen kastelu aloitetaan heti kylvöjen jälkeisenä päivänä. Nurmikonsiementen itäessä kasvualusta tulee pitää kosteana, jotta nurmikkosiemenen kasvu ei tyrehy. Mikäli kasvu pysähtyy kuivuuden takia, nurmikon verso kuolee eikä lähde enää kasvamaan uudestaan kasvualustan kostuessa. [41] Tämän vuoksi koealat kastellaan koko itämisen ajan niinä päivinä, jolloin ei sada. Päivittäistä kastelua jatketaan kaikilla koealoilla niin kauan, että nurmikon kasvu on alkanut kaikilla koealoilla ja koealojen viherpeittävyys on yli 80 %. Tämän jälkeen kastelua voidaan harventaa. Tarkemmat kastelumäärät sovitaan tarkemmin työn edetessä. Koealat kastellaan aamuyöstä, jolloin haihdunta on vähäisintä, kastelukärryllä koerakenteen sivusta. Kastelussa käytetään sumutinsuutinta, jotta kastelu muistuttaisi mahdollisimman paljon luonnollista sadetta.

Koealat leikataan ensimmäisen kerran, kun nurmikko on kaikilla koealoilla saavuttanut vähintään 15 cm pituuden. Ennen ensimmäistä leikkausta nurmikon annetaan kasvaa normaalia liikennöinnin aikaista 10 cm maksimipituutta pidemmäksi. Myös ensimmäiset leikkauskorkeudet jätetään normaalia 3-4 cm leikkuukorkeutta pidemmäksi. Ensimmäisellä leikkauskerralla leikkauskorkeus on 7-8 cm, toisen 5 cm. Tämän jälkeen leikkauskorkeutena on liikennöinnin aikainen 3-4 cm. Pidemmällä kasvustolla ja korkeammilla leikkauskorkeuksilla pyritään saamaan nurmikolle mahdollisimman hyvä juurikasvusto. Matalaan leikkaukset vähentävät juuriston kasvun kehitystä, koska kasvi käyttää lähes kaiken energiansa maanpäällisen kasvuston kasvattamiseen [41].

### 7.3 Testattavat nurmikkolaadut

Koerakenteissa testataan kahta erilaista nurmikonsiemen-seosta. Näiden seosten valinnassa on käytetty apuna suomalaisten nurmikonsiemen-seoksia myyvien yritysten asiantuntijoita. Molemmat testattavat nurmikonsiemen-seokset sisältävät puisto- ja punanataa sekä niittynurmikkaa. Nurmirölliä sisältävät siemen-seokset jäivät pois koerakenteista, koska nurmirölli -lajin talvenkestävyys on muissa kasvatuskokeissa ollut paljon heikompa kuin nyt testattavien lajien ja lajikkeiden [23]. Nurmiraadassa nurmikon pintaan ei muodostu lumesta nurmikkaa suojaavaa lumipatjaa, minkä vuoksi nurmilajien talvenkestävyys on erityisen tärkeää. Koerakenteita suunniteltaessa etelänadan käyttöä suositeltiin siemen-seoksissa, sillä sen käytöstä nurmiradan nurmikoissa on hyviä kokemuksia muualla Euroopassa [31]. Etelänadan siemeniä ei kuitenkaan ollut mahdollista saada Suomeen tarvittavan vähäistä määrää, minkä vuoksi se sulkeutui pois testattavista siemen-seoksista.

Lopullisessa siemenseoksessa voidaan vielä erikseen miettiä, olisiko mahdollista ja tarpeellista lisätä siemenseokseen hieman etelänataa.

Testattavista siemenseoksista toinen koostuu 80 %:sti puisto- ja punanadasta sekä 20 %:sti niittynurmikasta. Puistonata koostuu kahdesta eri lajikkeesta, Capris ja Humboldt, joita molempia siemenseoksessa on 20 %. Punanatalajikkeena on Rossinante, jota siemenseoksessa on 40 %. Niittynurmikkana on käytetty Yvette -lajiketta. [31] Toinen siemenseos sisältää 50 % puisto- ja punanataa sekä 50 % niittynurmikkaa. Seoksessa on 30 % puistonadan Calliope -lajiketta ja 20 % punanadan Heidrun -lajiketta. Siemenseoksessa on kahta eri niittynurmikka -lajiketta, Conni ja Yvette, joita molempia seoksessa on 25 %. [23] Kaikki edellä esitetyt prosentit ovat massaprosentteja.

## 7.4 Testattavat kasvualustamateriaalit

Koerakenteissa testataan kuutta erilaista kasvualustamateriaalia, joista yksi on normaalia teollisesti tuotettua nurmikon kasvualustaa ja viisi erilaisia mikrokantavia kasvualustoja. Teollisesti tuotettua nurmikon kasvualustaa voidaan pitää koerakenteiden nollanäytteenä, sillä tämän kaltaisista kasvualustoista viherrakentamisessa on pitkäaikaiset kokemukset toisin kuin mikrokantavista kasvualustoista. Testattavat kasvualustatuotteet koealoittain on esitetty taulukossa 18. Mikrokantavat kasvualustat seostetaan kahdessa eri yrityksessä pelkästään hankkeen koerakenteita varten. 8-16 mm sepelikoon mikrokantava kasvualusta on esitetty kuvassa 27 ja 16-32 mm sepelikoon mikrokantava kasvualusta on esitetty kuvassa 28.



*Kuva 27. Raekooltaan 8-16 mm mikrokantava kasvualusta*





**Kuva 28.** Raekooltaan 16-32 mm mikrokantava kasvualusta

Viidestä mikrokantavasta neljä on sepelin sekä orgaanisen aineksen seoksia. Näissä neljässä seoksessa testataan kahta eri sepelikokoa yhdistettynä orgaaniseen ainekseen. Nämä mikrokantavan kasvualustan testattavat sepelikoot ovat 8-16 mm sekä 16-32 mm. Käytetyistä sepelikoista pienempi, eli 8-16mm, valitui tässä työssä tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella. Raekooltaan suurempi kasvualustatuote on kasvualustatoimittajan oman tuotekehitys- ja asiantuntijatyön perusteella valmistettu kasvualustaseos. Kaikkiin sepeliä sisältäviin mikrokantaviin kasvualustoihin on sekoitettu sama määrä eli noin 25 tilavuusprosenttia orgaanista ainesta, josta noin puolet on maanparannuskompostia. [51] Molempia mikrokantavia kasvualustaseoksia kokeillaan sellaisenaan sekä siten, että kasvialustatuotteeseen on sekoitettu TerraCottem -polymeeriä 500-600 g/m<sup>3</sup>.



**Kuva 29.** *Tiilisepelejä ja leca-mursketta sisältävä mikrokantava kasvualusta*

Yhtenä testattavana mikrokantavana kasvualustatuotteena on viherkattojen kasvualustatuotteesta muokattu ja nurmiradalle optimoitu kasvualustaseos. Kyseinen kasvualustaseos on esitetty kuvassa 29. Kasvualustaseos koostuu halkaisijaltaan 5-15 mm tiilisepeleistä, 3-8 mm leca-murskeesta, hiekasta, maatuneesta kuoresta ja kasvualustaseoksesta. [26] Kasvualustatuotteessa tiilimurske tuo materiaaliin vaadittuja kantavuusominaisuuksia, leca-murske toimii kantavuutta lisäävänä sekä vettä pidättävänä materiaalina. Leca-murskeen vettä pidättävä vaikutus perustuu sen suureen huokostilavuuteen. Kasvualustaseos ja maatunut kuori lisäävät kasvun edellytyksiä.

## 7.5 Tutkimussuunnitelma

Nurmiradan koealoista halutaan selvittää useita eri kasvuun ja kasvillisuuden kestävyysvaikuttavia tekijöitä. Koealojen tutkimussuunnitelma voidaan jakaa kolmeen osaan: nurmikon ja sen juuriston kasvun seuranta ja dokumentointi, sääolojen ja hoitotoimenpiteiden dokumentointi sekä kasvualustan kantavuuden tutkiminen.

Laajin tutkimusseurannan osa on nurmikon ja sen juuriston kasvun seuranta ja dokumentointi. Seuranta ja dokumentointi aloitetaan heti kylvön jälkeen ja sitä jatketaan kasvukauden loppuun saakka. Nurmikon kasvun seurantaa jatketaan seuraavana keväänä lumen sulaessa ja uuden kasvukauden alkaessa. Seurantaa jatketaan vähintään kesäkuun alkuun saakka, jonka jälkeen koerakenteet puretaan. Yli talven jatkuvalla seurannalla tutkitaan

nurmikkokasvustojen talvehtimiskykyä sekä keväällä uuteen kasvukauteen lähtöä. Tärkein dokumentointitapa on silmämääräinen arviointi ja siinä todettujen huomioiden kirjaaminen. Koealoja käydään dokumentoimassa 1-3 kertaa viikossa. Jokaisella käyntikerällä jokaiselta koealalta mitataan ja dokumentoidaan seuraavat asiat:

- nurmikon pituus,
- koealan viherpeittävyys,
- kasvualustan maakosteus 12,5 cm syvyydeltä sekä kasvualustan pintakerroksesta,
- kasvualustan lämpötila,
- mahdolliset auringonpolttamat tai muut kasvua vahingoittavat tekijät ja niiden prosentuaalinen osuus kokonaiskoealasta,
- koealan kasvun dokumentointi valokuvaamalla.

Dokumentointi tehdään liitteenä D olevalle dokumentointipohjalle. Dokumenttipohjat kootaan yhteen excel -tiedostoon, jotta tuloksista voidaan tehdä erilaisia koontikaavioita. Koealoista otetut kasvua dokumentoivat valokuvat kerätään yhdeksi tiedostokokonaisuudeksi. Tiedostot nimetään siten, että siitä selviää kuvaamispäivä sekä koealan numero. Maakosteudet mitataan TDR-150 -mittalaitteistolla, joka on suunniteltu erilaisten kasvualustojen kosteuden mittaamiseen. Mittaristo koostuu metallipiikkiparista, joka upotetaan tutkittavaan maahan. Sähkömagneettisen aaltoliikepulssin etenemisnopeuden avulla mittari pystyy mittaamaan maan vesipitoisuuden [27]. Mittauksissa tehdään noin kerran kuu-kaudessa tarkastusmittaus, jolloin koealojen maankosteudet mitataan kahdesti samana mittaushetkenä, jolloin saadaan selville mittauksessa mahdollisesti tapahtuvat mittauseräparatarkkuudet ja tulosten normaali vaihteluväli.

Syksyllä kasvukauden loppuessa jokaisesta koealasta otetaan näyte kiintolaatan päältä, ulkopuolelta sekä laattojen välistä. Näistä näytteistä tutkitaan nurmikon juuriston pituus, kuinka syvälle juuret ovat kasvaneet sekä punnitaan juurien biomassa. Mitä syvemmillä nurmikon juuristo on ja mitä suurempi biomassa juurella on, sitä kestävämpi erilaisille sääolosuhteille maanpäällinen kasvillisuus on. Näytteiden oton yhteydessä voidaan tehdä myös silmämääräinen katselmus nurmiradan kiintolaatan kunnosta. Tässä nähdään, onko kiintolaattaan syntynyt halkeamia ynnä muita rakenteelle epätoivottuja vaurioita.

Koealojen paikallisten ilmasto-olosuhteiden dokumentointia varten koealojen läheisyyteen asennetaan lämpötila- ja ilmankosteusmittari sekä sademittari. Mittareiden avulla päivittäin dokumentoidaan vuorokauden ylin ja alin lämpötila sekä ilmankosteuden vaihteluväli. Samaan tiedostoon merkitään sademäärät sekä kaikki koealoille tehty hoitotoimenpiteet. Näitä ovat koealojen kastelu, leikkaus, leikkausjätteen keruu sekä mahdolliset muut hoitotoimenpiteet. Kastelumäärät kirjataan ylös, mikäli tieto on saatavilla.



Kasvualustojen kantavuutta mitataan kolmesti. Ensimmäinen mittausta tehdään koelajien rakentamisen aikana, jolloin mittaukset tehdään mikrokantavan kasvualustan päältä ennen normaalin kasvualustan levittämistä. Mittaus tehdään myös koelajoilla 3 ja 4, joissa kasvualustakerrokset koostuvat ainoastaan normaalista tuotteistetusta kasvualustasta. Toinen mittauskerta suoritetaan syksyllä kasvukauden lopussa. Tällöin kantavuudet mitataan nurmikon pinnalta. Kolmas mittauskerta tehdään seuraavan vuoden keväänä, kun routa on poistunut kokonaan kasvukerrosmateriaaleista. Kantavuusarvot mitataan kiintolaatan päältä, laatan ulkopuoliselta reunalta sekä laattojen välistä. Kaikki kantavuusmittaukset tehdään LoadMan -laitteella. Nurmiraian suunnittelun lähtötiedoissa ei ole määritetty kasvualustalle kantavuusvaatimuksia. Kantavuusmittaukset tehdään, jotta saadaan tuloksia mikrokantavien kasvualustojen kantavuuksista, joita ei ole muuten saatavilla. Mikrokantavista kasvualustoista saatuja tuloksia voidaan verrata keskenään sekä normaalia kasvualustasta saatuihin tuloksiin. Tuloksia käytetään kasvualustan lopullista materiaali päätöstä tehtäessä.

Koerakenteista saatavista tuloksista tehdään oma kirjallinen raportti, johon kootaan kaikki koerakenteista saadut tulokset. Raporttiin kirjataan myös koerakenteiden rakentamisesta ja hoidosta ilmaantuneet huomiot ja parannusehdotukset. Raportin tavoitteena on toimia materiaalivalintojen päätöksenteon tukena sekä osittain lopullisten kasvualustakerrosten rakentamisen ja siementen kylvön rakentamisohjeena.

## **7.6 Mahdolliset tutkimussuunnitelman laajennukset**

Rakennetut koerakenteet ovat osa suurta rakennusprojektia. Koerakenteilla haluttuun saavuttaa konkreettisia tuloksia, joten raitiotieallianssille tärkein tutkimusosa on istutetun nurmikon paikallisten ääriolojen kestävyys ja tiedon saanti lopullisia tuotepäätöksiä varten. Tämän vuoksi tutkimussuunnitelman ulkopuolelle jäi useita mahdollisia tutkimusosia, jotka on esitetty alla.

Koerakenteissa kasvualustojen kosteuksia mitataan TDR -mittarilla, jossa käytettävä piikki pari on 12,5 cm pitkä. Mikrokantavassa kasvualustassa kivennäismaamateriaalina käytettävä murske ei mahdollista maan kosteuksien mittaamista TDR -mittarilla kerrospaksuuden alaosasta. Jotta mikrokantavien kasvualustojen kosteuksista saisi täysin vertailukelpoista tietoa, tulisi kasvualustoista ottaa maanäytteet ja määrittää niiden kosteudet laboratorio-olosuhteissa. Kosteusmittausten laboratoriotutkimukset voisi tehdä esimerkiksi kerran kuukaudessa. Tuloksista saadaan suurin hyöty, kun tutkimukset suoritetaan erilaisissa hoitotoimenpiteiden vaiheissa. Näitä voisivat olla esimerkiksi kastelun kanssa samana päivänä ja muutaman päivän kuluttua kastelusta. Jotta tuloksista olisi hyötyä tulisi kastelumäärät olla tiedossa.

Nyt suunniteltujen koerakenteiden avulla voidaan selvittää monia kasvuolosuhteita sekä autenttista kasvu ympäristöä, mutta kasvun tarkkailu ja tehtyjen hoitotoimenpiteiden

tarkka dokumentointi on haastavaa. Koska koerakenteet rakennetaan autenttiseen ympäristöön, on esimerkiksi tarkkojen kastelumäärien saaminen koealoittain haasteellista ja valitulla kastelujärjestelmällä mahdotonta. Lisäksi tutkittavat mikrokantavat kasvualustat ovat normaalin kasvualustakerroksen alla, jolloin niistä tulosten saaminen ja tulosten vertailu on hankalaa. Esimerkiksi TerraCottemin mahdollista vaikutusta mikrokantavassa kasvualustassa on haastava todentaa. Pienempialaisilla koealoilla ja kasvukokeilla voitaisiin selvittää niitä kasvualustan ja kasvun olosuhteita, joita isompialaisissa koealoissa on vaikea selvittää tai jotka jäävät kokonaan selvittämättä.

Pienempialaisilla koealoilla, niin sanotuilla kasvulaatikkokokeilla, kasvualustamateriaalien vedenläpäisevyyksistä saataisiin tarkkoja tietoja, sillä koealojen kasteluveden määrä ja koealalta suotautuvat vesimäärät pystytään mittaamaan tarkasti. Mikäli kasvulaatikoiden seinät on tehty läpinäkyvästä materiaalista, pystytään myös juuriston kasvua dokumentoimaan paremmin. Parhain tulos saavutettaisiin tilanteessa, jossa samankaltaiset koealat rakennettaisiin niin isolle monen neliön pinta-aloille autenttiseen ympäristöön sekä pienemmällä mittakaavalla kasvulaatikoihin. Kasvualustoista suotautuvista vesistä otettavien vesinäytteiden avulla voitaisiin selvittää erilaisten kasvualustojen suodattavaa ja puhdistavaa vaikutusta sekä mahdollista ravinteiden huuhtoutumista.

## 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella Tampereen raitiotiehankkeeseen nurmiradan päällysrakenne sekä nurmiradan koerakenteet. Suunnittelussa päällysrakenteessa käytetään Vignole -kiskoa, joka kiinnittyy rakenteeseen RhedaCity Green -pölkkyssä olevien kisko-kiinnitysten avulla. Pölkky valetaan raiteen alla kulkevaan yhtenäiseen kiintolaattaan. Suunnittelussa nurmiratarakenteessa on näin ollen kaksi erillistä betonista kiintoraidelaattaa. Suunnitellut nurmiradan päällysrakenteen kuivatusratkaisut koostuvat kiintolaattojen kallistuksista, kiintolaattojen välissä olevasta salaojaputkistoista tarkastuskaivoineen sekä päällysrakenteen ulkopuolisista syväsalaojaverkostoista. Suunnitellun nurmiradan kasvualustatuotteena käytetään joko kokonaan tuotteistettua nurmikon kasvualustaa tai tuotteistetun kasvualustan ja mikrokantavan kasvualustan yhdistelmää. Mikrokantava kasvualusta on sovellus katupuilla käytettävästä kantavasta kasvualustasta. Päällysrakenteessa käytettävät lopulliset kasvualustatuotteet sekä nurmikonsiemenseos päätetään koerakenteista saatujen tulosten perusteella kesällä 2019.

Viher- ja nurmiradan päällysrakenteessa yhdistyvät raitiotien ratatekniset rakenteet sekä kasvillisuuden kasvun mahdollistavat kasvualustakerrokset. Viher- ja nurmiradalle ei ole olemassa rakenteille tai kasvualustoille luotuja sitovia määräyksiä. Tämän vuoksi halutut ominaisuudet ja kriteerit tulee määritellä hankekohtaisesti. Nurmiradan ratarakenteelta vaaditaan samoja kriteerejä kuin muiltakin raitiotierakenteilta. Kasvualustalle ja kasvillisuudelle määritellyt kriteerejä ovat muun muassa kasvualustalta vaadittava kantavuus, kasvualustan minimipaksuus ja käytettävä kasvillisuustyyppi. Ennen suunnittelun aloittamista tulisi päättää myös kasvillisuuspinnalta vaadittava laatu- ja hoitotaso.

Viher- ja nurmiratojen kasvillisuuden kannalta kasvualustan koostumuksella ja ominaisuuksilla on suuri merkitys kasvillisuuden kestävyyyteen, kasvuun ja vaadittaviin hoitotoimenpiteisiin. Yleisenä haasteena kasvualustojen suunnittelussa on, että läheskään kaikkia kasvuun vaikuttavia kasvualustan ominaisuuksia ei ole yksiselitteisesti määritetty nurmiradalle tai muihinkaan viherrakennuskohteisiin.

Tässä työssä tehtiin kahdeksalle erilaiselle mikrokantavalle kasvualustalle humuspitoisuus, vedenpidätyskyky- ja vedenläpäisykykymittaukset. Näistä saatujen tulosten perusteella päätettiin osa nurmiradan koerakenteissa käytettävistä mikrokantavista kasvualustoista. Laboratoriomääritysten tuloksista voitiin todeta, että orgaanisen materiaalin suhteellisen osuuden kasvattaminen lisää kasvualustan vedenpidätyskykyä ja pienentää kasvualustamateriaalin vedenläpäisykykyä. 10 % biomultaa sisältävien kasvualustojen vedenpidätyskyky on 3,8 - 12,2 massaprosenttia ja vedenläpäisykyky 350-900 mm/vrk 100% tiiviysasteessa. 20 % biomultaa sisältävien kasvualustojen vedenpidätyskyky on 4 - 15,1 massaprosenttia ja vedenläpäisykyky 60-600 mm/vrk 100% tiiviysasteessa. Tutkimustuloksista on nähtävissä myös, että hienompijakoinen kivennäismateriaali, jossa on

mukana raekooltaan 0-2 mm tai 0-6 mm murske, lisää kasvualustakerroksen vedenpidätyskykyä sekä heikentää vedenläpäisykykyä. Kasvualustoissa, joissa kiviainesmateriaalien hienojakoiset rakeet ovat mukana, kasvualustojen vedenpidätyskyky on 9,8 - 15,1 massaprosenttia ja vedenläpäisykyky 60-400 mm/vrk 100% tiiviysasteessa. Kun kasvualustan kivennäismateriaalina on sepeli, kasvualustojen vedenpidätyskyky on 3,8 - 9,3 massaprosenttia ja vedenläpäisykyky 300-900 mm/vrk 100% tiiviysasteessa.

Vedenläpäisy- ja vedenpidätyskyvyn mittaamiseen kasvualustassa ei ole olemassa standardeitua menetelmiä. Nämä tulisi kehittää, jotta eri tutkimuksissa tehtyjen tutkimustulosten keskinäinen vertailu olisi mahdollista. Myös mikrokantaville ja kantaville kasvualustatuotteille tulisi kehitellä standardoidut tutkimusmenetelmät. Tällä hetkellä vesitasetta mittaavat kasvualusta-analysimenetelmät eivät sovellu kasvualustatuotteille, jonka maksimirakekoko ylittää 16 mm.

Tässä työssä valituille kasvualustoille tehtiin ainoastaan kasvualustan vesitalouteen vaikuttavia analyysejä. Kasvillisuuden kasvu on monimutkainen kokonaisuus, johon vaikuttavat useat eri kasvualustan fysikaaliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet. Jotta kasvualustat voitaisiin optimoida täysin valittuun kasvillisuuteen ja käytettävään kohteeseen sopivaksi, tulisi kasvualustamateriaaleille tehdä lisätutkimuksia, kuten ominaispinta-ala- ja huokosjakaumamittauksia. Lisätutkimuksissa tulisi selvittää myös kasvualustan sisältämät tärkeimmät ravinnepitoisuudet.

Nurmiraadan päällysrakenteen suunnittelutyön ohessa päätettiin toteuttaa ensimmäisten rakennettujen nurmiraadan kiintolaattojen päälle nurmiraadan koerakenteet, jossa testataan erilaisia kasvualustatuotteita ja nurmisiemenseoksia. Koerakenteisiin valittiin kuusi erilaista kasvualustaseosta, joista viisi on mikrokantavia. Kahdessa testattavassa mikrokantavassa kasvualustassa on TerraCottem -polymeeriä parantamassa kasvualustan vedenpidätyskykyä. Nurmikonsiemenseoksiksi valittiin kaksi erilaista nata- ja niittynurmikkapohjaista siemenseosta. Koerakenteissa seurataan siemenseosten kasvuun lähtöä, kasvillisuuden vaatimia hoitotoimenpiteitä, kasvualustojen kantavuutta ja kasvillisuuden kestoa erilaisissa ilmasto-olosuhteissa. Nurmiraadassa nurmikko kasvaa vaativammassa olosuhteissa kuin normaaleilla viheralueilla. Kasvuolosuhteiden kuivuus, paahteisuus ja talvesta selviytyminen ovat nurmikon kasvun kannalta haastavimmat olosuhteet.

## LÄHTEET

- [1] A. Alku, diplomi-insinööri, Alkutieto Oy. Sähköpostikeskustelut 26.10-10.11.2017.
- [2] J. Beard, Effects of ice, snow and water covers on Kentucky bluegrass, annual bluegrass and creeping bentgrass, *Cropps Science* 4: 638-640, 1964.
- [3] S. Besier, diplomi-insinööri, StadtBahnGestaltung. Sähköpostikeskustelut 4.12.2017-12.1.2018.
- [4] S. Besier, Gleisanlagen als gestalterische Herausforderung, *Der Nahverkehr*, 2009.
- [5] S. Besier, Grüne Gleise im Stadtverkehr Betrachtungen aus Stadtgestalterischer sicht, *Berliner Geographische Arbeiten* 116, 2010, s.109-121.
- [6] N. Black, K. Handreck, Growing media for ornamental plants and turf 4 th edition, A UNSW Press book, 2010.
- [7] C. M. G. Carpenter, D. Todorov, C. T. Driscoll, M. Montesdeoca, Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations, *Environmental Pollution* 218: 664-672, 2016.
- [8] M. Corsi, Track Design Manager, Irlannin liikenneinfrastruktuuri. Sähköpostikeskustelu 14.12.2017.
- [9] H. Dvoráková, H. González, J. Záhora, R. Sinoga, The effect of Hydropolymers on soil microbiota activities in Mediterranean areas, *MVZ Córdoba* 23: 6414-6428, 2018.
- [10] Eglinton Connects, Green Trackway Precedents Study, Eglinton LRT, 2014. Saatavissa (viitattu: 10.1.2018): <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.567.6008&rep=rep1&type=pdf>
- [11] D. Eissenstat, Costs and benefits of constructing roots of small diameter, *Journal of Plant Nutrition* 15: 763-782, 1992.
- [12] B. Embrén, Good results when biochar is used in urban plantings -luento, Viherpäivät Viherympäristöliitto, 2018.
- [13] C. Esveld, Track Structures in an Urban Environment, TU Delft, 1997.

- [14] Fahrwege Der Bahnen Local and regional railway tracks in Germany, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen Förderkreis, 2007.
- [15] E Fischmeister, Department B63 – Track construction, Wiener Linien, 2016. Saatavissa (viitattu: 6.8.2018): [http://www.sdp-cr.cz/WD\\_FileDownload.ashx?wd\\_systemtypeid=34](http://www.sdp-cr.cz/WD_FileDownload.ashx?wd_systemtypeid=34)
- [16] F. Fornes, R.M. Belda, P. Fernández de Córdovab, J. Cebolla-Cornejo, Assessment of biochar and hydrochar as minor to major constituents of growing media for containerized tomato production, *J Sci Food Agric* 97: 3675-3684, 2017.
- [17] F. Giuffrida, S. Consoli, Reusing perlite substrates in soilless cultivation: Analysis of particle size, hydraulic properties, and salarization effects, *J. Irrig Drain Eng.*, 2016.
- [18] A. Graceson, M. Hare, J. Monaghan, N. Hall, Plant growth responses to different growing media for green roofs, *Ecological Engineering* 69: 196-200, 2014.
- [19] A. Graceson, M. Hare, J. Monaghan, N. Hall, The water retention capabilities of growing media for green roofs, *Ecological Engineering* 61: 328-334, 2013.
- [20] A. Graceson, M. Hare, J. Monaghan, N. Hall, Use of inorganic substrates and composted green waste in growing media for green roofs, *Biosystems Engineering* 124: 1-7, 2014.
- [21] P. Gregory, *Plant Roots -Growth, activity and interaction with soils*, Blackwell Publishing, 2008.
- [22] Guideline for the planning, execution and upkeep of greenroof sites, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2008.
- [23] E. Hakamäki, myyntipäällikkö, Berner Oy. Sähköpostikeskustelut 13.4-14.5.2018
- [24] Handbook Track Greening -Design, Implementation, Maintenance, Eurailpress, 2016.
- [25] J. Hannonen, toimitusjohtaja, Puutarhapalvelu Hannonen Oy. Sähköpostikeskustelut 22.2-5.4.2018.
- [26] I. Heikkala, Production Manager, Hyvinkään Tieluiska Oy. Sähköpostikeskustelut 14.3-11.4.2018.
- [27] R. Heinonen, H. Hartikainen, E. Aura, A. Jaakkola, E. Kemppainen, Maa, viljely ja ympäristö, WSOY, 1992.

- [28] S. Hejduk, S. W. Baker, C. A. Spring, Evaluation of the effects of incorporation rate and water-retentive amendment materials in sports turf constructions, *Acta Agriculturae Sandinavica Section B – Soil and Plant Science*, 62 Supplement 1, 2012.
- [29] InfraRyl, Rakennustieto, 2015.
- [30] J. Janick, Horticultural science, Fourth Edition, W. H. Freeman and Company, 1986.
- [31] K. Jansson, tuotepäällikkö, S.G Nieminen Oy. Sähköpostikeskustelut 15.3-9.5.2018.
- [32] A. Jezdinsky, V. Reznicek, The effect of some cultivation conditions on properties of leaves of the container-produced species *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis* Volume LIX, 2011.
- [33] T. Jäniskangas, Kasvualustaseoksien laboratoriotestien tutkimusraportti, Tampereen teknillinen yliopisto, 2018.
- [34] T. Jäniskangas, projektitutkija, Tampereen teknillinen yliopisto. Sähköpostikeskustelu 18.4.2018.
- [35] Kadunrakennustöiden yleinen työselostus, Tampereen raitiotieallianssi, 2016.
- [36] Kasvualustan suositeltavat ravinnepitoisuudet, Viherympäristöliitto, 2015. Saatavissa (viitattu: 23.8.2018): [https://www.vyl.fi/site/assets/files/1499/kasvualusta\\_ravinnepitoisuudet\\_web2.pdf](https://www.vyl.fi/site/assets/files/1499/kasvualusta_ravinnepitoisuudet_web2.pdf)
- [37] B. B. Kaudal, D.Chen, D. B. Madhavan, A. Downie, A. Weatherley, An examination of physical and chemical properties of urban biochar for use as growing media substrate, *Biomass and Bioenergy* 84: 49-58, 2016.
- [38] B. Kernan, Power & Systems Manager, Irlannin liikenneinfrastrukturi. Sähköpostikeskustelut 7-14.12.2017.
- [39] M. Korpela, sähkötoimien johtaja, VR Track Oy. Haastattelu 20.11.2017.
- [40] J. Krook, P. Peurasuo, M. Heino, Kantava kasvualusta -katurakenne ja katupuun kasvupaikka Koetoimintaa ja ohjeita, Suomen kuntatekniikan yhdistys ry, 2005.
- [41] K. Laukkanen, H. Walden, Urheilunurmikoiden perustaminen ja hoito, Rakennustieto Oy, 2008.

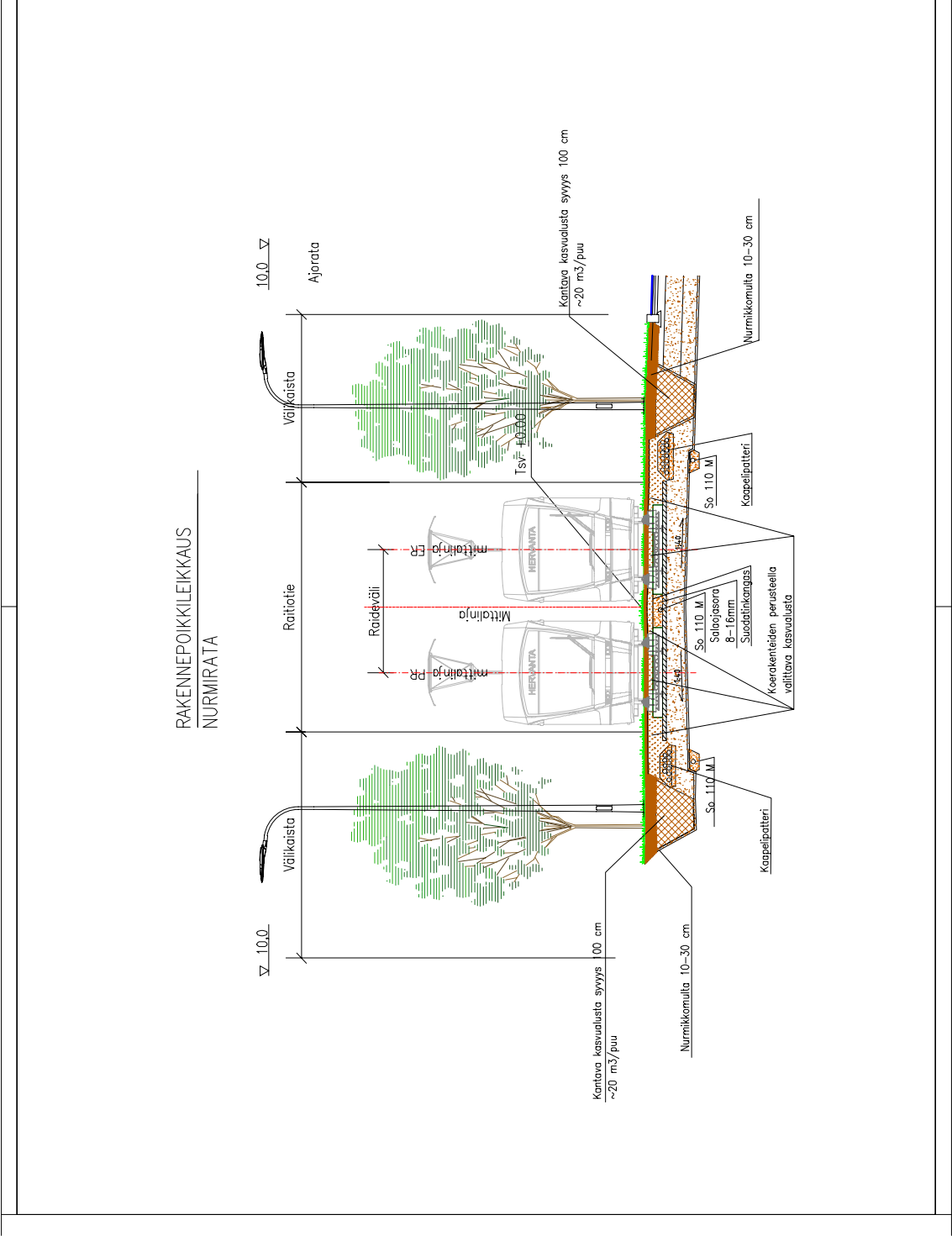
- [42] T. Marjamäki, Golfviheriöiden nurmikkoheinien juuriston kasvudynamiikan tutkiminen miniritsoitritekniikalla sekä juuriston merkitys talvivaurioiden esiintymiseen Pro Gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, 2001.
- [43] J. Mattila, J. Rissanen, Routaeristeiden pitkäaikaiset upotuskokeet väliraportti, Tampereen teknillinen yliopisto, 2005, Saatavissa: <https://www.finnfoam.fi/files/7813/5530/7226/2470.pdf>, Lainattu. 10.6.2018.
- [44] F. N. D. Mukome, X. Zhang, L. C. R. Silva, J. Six, S. J. Parikh, Use of Chemical and Physical Characteristics to Investigate Trends in Biochar Feedstocks, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 2196-2201, 2013.
- [45] M. Myllys, M. Gustafsson, K. Koppelmäki, H. Känkänen, A. Palojärvi, L. Alakukku, Juuritotietopaketti – Juuret maan rakenteen parantajina, Uudenmaan ELY-keskus, 2015. Saatavissa (viitattu 10.4.2018): <http://www.doria.fi/handle/10024/103454>
- [46] R. Naasz, J.-C. Michel, S. Charpentier, Water repellency of organic growing media related to hysteric water retention properties, *European Journal of Soil Science* 59: 156-165, 2008.
- [47] K. K. Narayanasamy, Runoff quality and quantity from green roofs and the impact of biochar amendment on runoff properties, Helsingin yliopisto, 2013.
- [48] A. Nieto, G. Gasco, J. Paz-Ferreiro, J.M. Fernández, C. Plaza, A. Méndez, The effect of pruning waste and biochar addition on brown peat based growing media properties, *Scientia Horticulturae* 199: 142-148, 2016.
- [49] Nurmiraiteen markkinavuoropuhelu -kokousaineisto, Tampereen raitiotieallianssi, 2018
- [50] Nurmiraiteen päällysrakenne -työryhmän muistiot, Tampereen raitiotieallianssi 2017-2018
- [51] P. Nyberg, Technical Product Manager, Kekkila Oy. Sähköpostikeskustelut 12.12.2017-9.4.2018.
- [52] J. Pajula, Kasvualustan fysikaaliset ominaisuudet ja vesitalous Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2003.
- [53] J. Paluszek, W. Żembrowski, Improvement of water-air properties of eroded soils in a loess landscape after the application of agrohydrogel, *Annals of Warsaw University of Life Sciences Land Reclamation* No 39: 85–93, 2008.



- [54] C. Park, M. Allaby, A Dictionary of Environment and Conservation (3. ed.), Oxford University Press, 2017.
- [55] Pirkanmaan jätehuolto, biomullan tuoteseloste ja rakeisuuskäyrä, 2018. Saatavissa (viitattu: 15.5.2018): [http://pjhoy.fi/inet/pjoy/flow.nsf/documents/BE73CA34AC00A80EC22577D1003FBFC0/\\$file/Biomulta\\_rakeisuus\\_2018\\_1.pdf](http://pjhoy.fi/inet/pjoy/flow.nsf/documents/BE73CA34AC00A80EC22577D1003FBFC0/$file/Biomulta_rakeisuus_2018_1.pdf)
- [56] Raide-Jokerin internet -sivut, 2018. Saatavissa (viitattu 6.8.2018): <http://raidejokeri.info/>
- [57] M. Rantamäki, R. Jääskeläinen, M. Tammirinne, Geotekniikka, Otatieto, 2006.
- [58] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 2 Radan geometria, Liikenneviraston ohjeita 3/2010, Liikennevirasto, 2010.
- [59] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne, Liikenneviraston ohjeita 6/2016, Liikennevirasto, 2016.
- [60] Ratojen yleinen työselostus RYT 2013, Raitioteiden rakentaminen, 2013.
- [61] RhedaCity Green -viherraideratkaisut esite, Railone, 2011. Saatavissa (viitattu 12.2.2018): [https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Green\\_tracks\\_EN\\_2011\\_ebook.pdf](https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Green_tracks_EN_2011_ebook.pdf)
- [62] RT 85-11205 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, Rakennustietosäätiö, 2016.
- [63] M. R. P. Santos, M. J. M. Silva, Growth and development of *Jatropha curcas* seedlings using Terracotem soil conditioners under different irrigation levels, Emirates Journal of Food and Agriculture 28: 326-331, 2016.
- [64] J. Sirviö, Viheralueiden kasvualustat, Viherympäristöliitto ry., 2004.
- [65] J. Sloup, P. Salas, Affecting the quality of nursery produce by soil conditioners, Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis Number 4, 2009.
- [66] E. Snodgrass, L. McIntyre, The Green Roof manual, A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance, the Haseltine Building, 2010.
- [67] T. Soini, Viherrakentajan käsikirja, Viherympäristöliitto ry, 2009.
- [68] J. S. Sperry, V. Stiller, U.G Hacke, Soil Water Uptake and Water Transport Trough Root Systems, Plant Roots The Hidden Half, 2002.

- [69] C. Steiner, T. Harttung, Biochar as a growing media additive and peat substitute, Solid Earth Discuss, 2014.
- [70] K. Strandén, Kasvualustat ja vesitalous -diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 2001.
- [71] Tampereen raitiotieallianssi osan 1 Suunnitteluperusteet Versio 2.5, Tampereen raitiotieallianssi, 2018.
- [72] Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 5/2013, Liikennevirasto, 2013.
- [73] TerraCottemin kotisivut, 2018. Saatavissa (viitattu 22.8.2018): <https://www.terracottem.com/>
- [74] Toteutussuunnitelma, Tampereen raitiotieallianssi, 2016.
- [75] N. Tunninen, suunnittelija, VR Track Oy. Haastattelu 7.8.2018.
- [76] V-M. Tuominen, projektijohtaja, Tampereen kaupunki. Haastattelu 19.4.2018.
- [77] M. Valkila, aluemyyntipäällikkö, Kekkilä Oy. Haastattelut 5.3-25.5.2018.
- [78] L. Zhang, X. Sun, Y. Tian, X. Gong, Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*, *Scientia Horticulturae* 176: 70-78, 2014

LIITE A: NURMIRADAN RAKENTEELLINEN TYYPIPOIKKILEIKKAUS



MP1 NRO XXXXXX h=+XX.XXX  
MP2 NRO XXXXXX h=+XX.XXX  
Tässä suunnitelmassa on käytetty Tampereen taso- ja korkeuskoordinaatistoa



Tampereen kaupunki

Kaupunkiympäristö  
kehittäminen

USEAMPI HANKEOSA

4.8.20/16817

Yon päätös:

Suunnittelupäätöksen päätös:

Muutos / §

Tark. /

Hyv. x

Pvm. x

Korvaa piir.no

Ark.no

Pir.no 4.8.20/16817/93R

Piirt. Malla, Siipilä  
Suunn. Malla, Siipilä  
Tark.

Kuntatekniikan  
suunnittelu

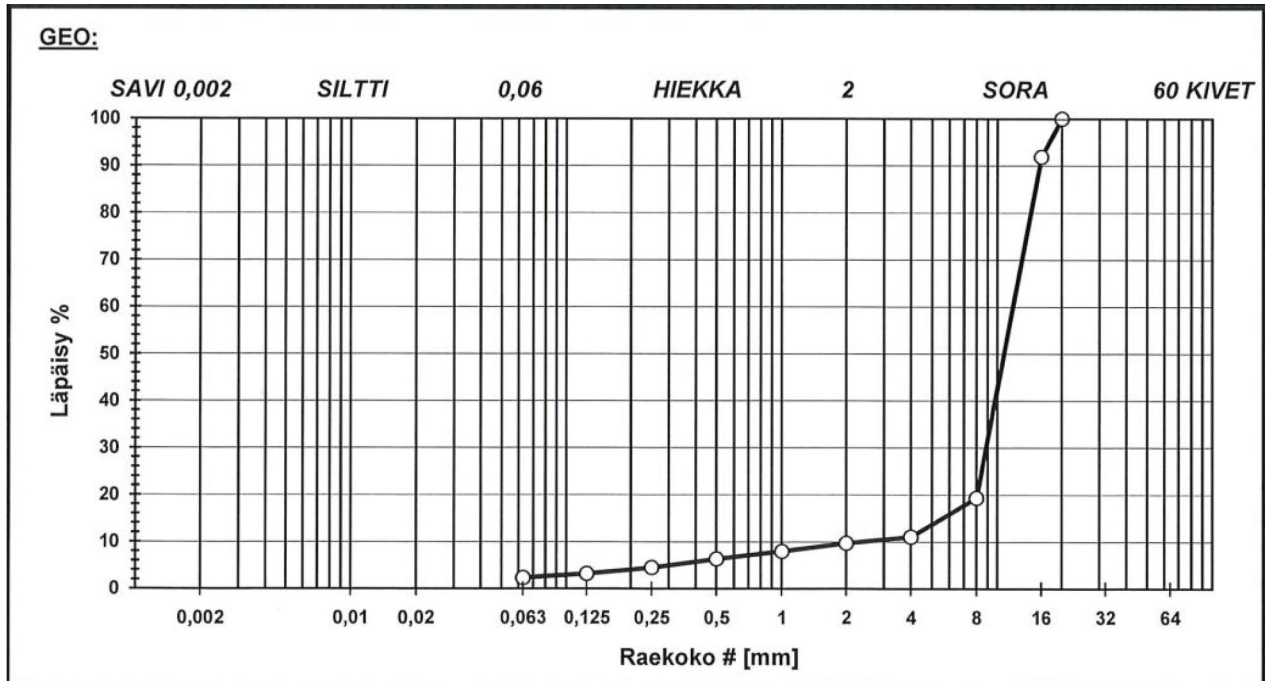
Tampereen



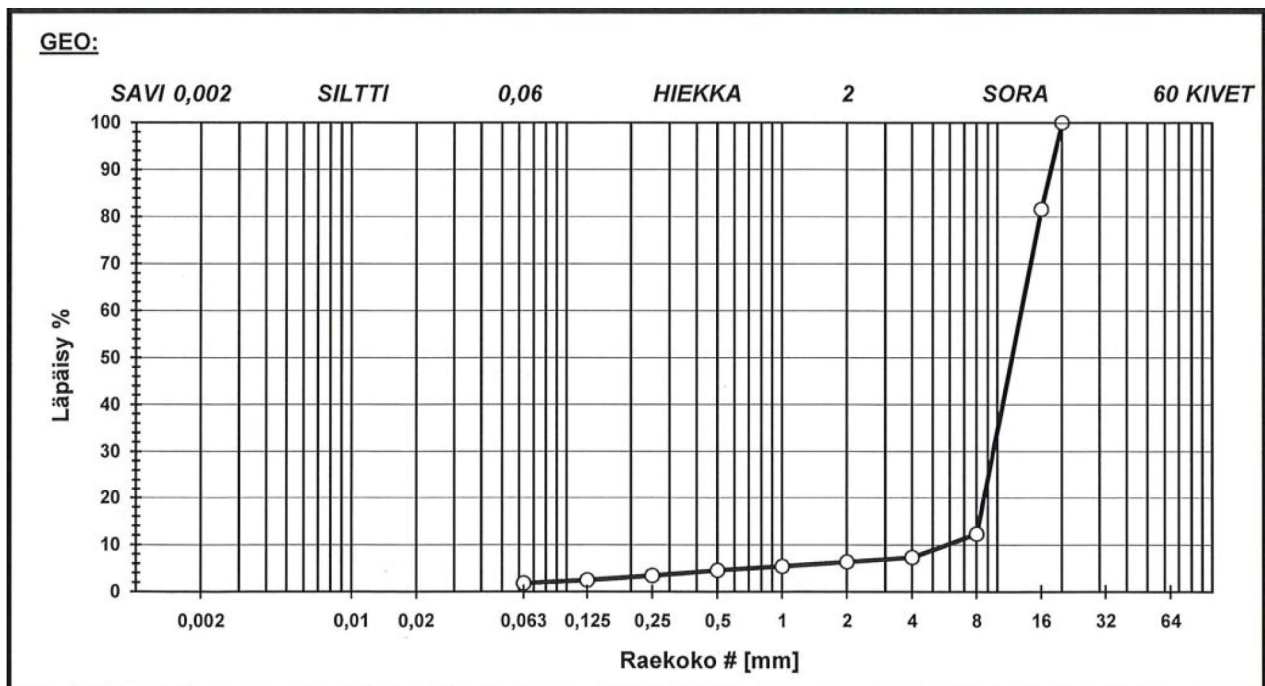
Infra

## LIITE B: LABORATORIOKOEISSA KÄYTETTYJEN KASVUALUSTASEOSTEN RAKEISUUSKÄYRÄT

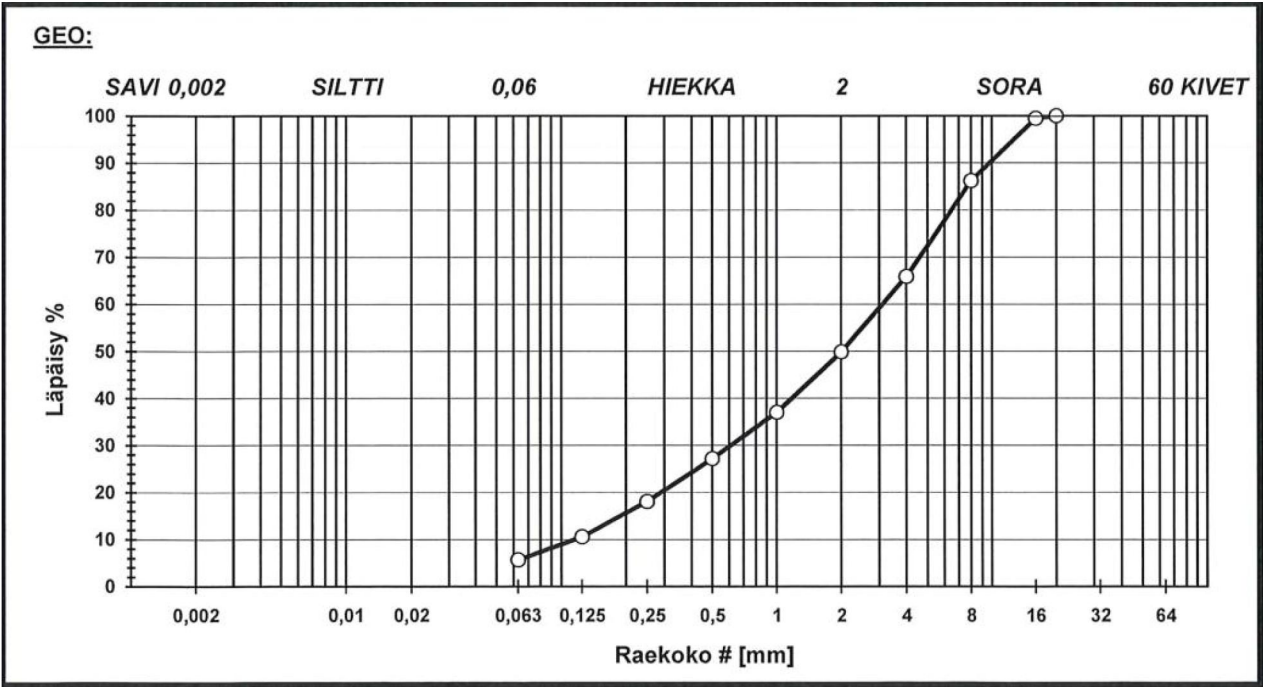
Murskekoko 8-16 mm 70 til-%, biomulta 30 til-%



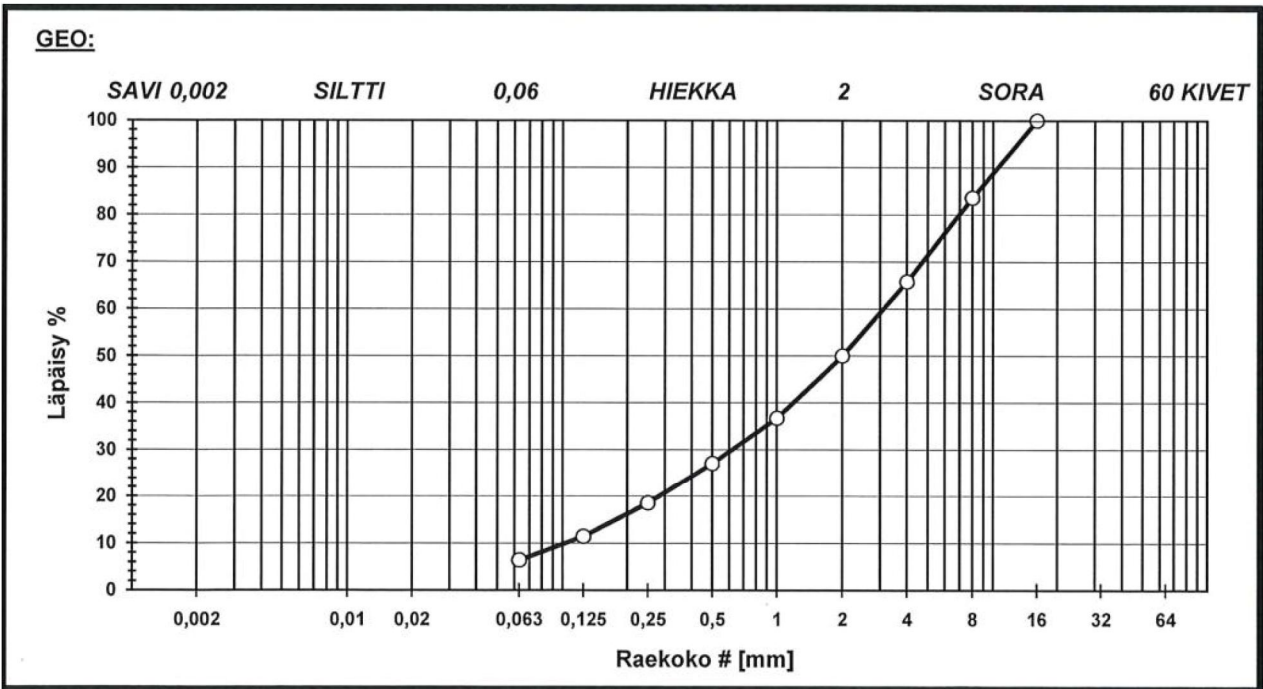
Murskekoko 8-16 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%



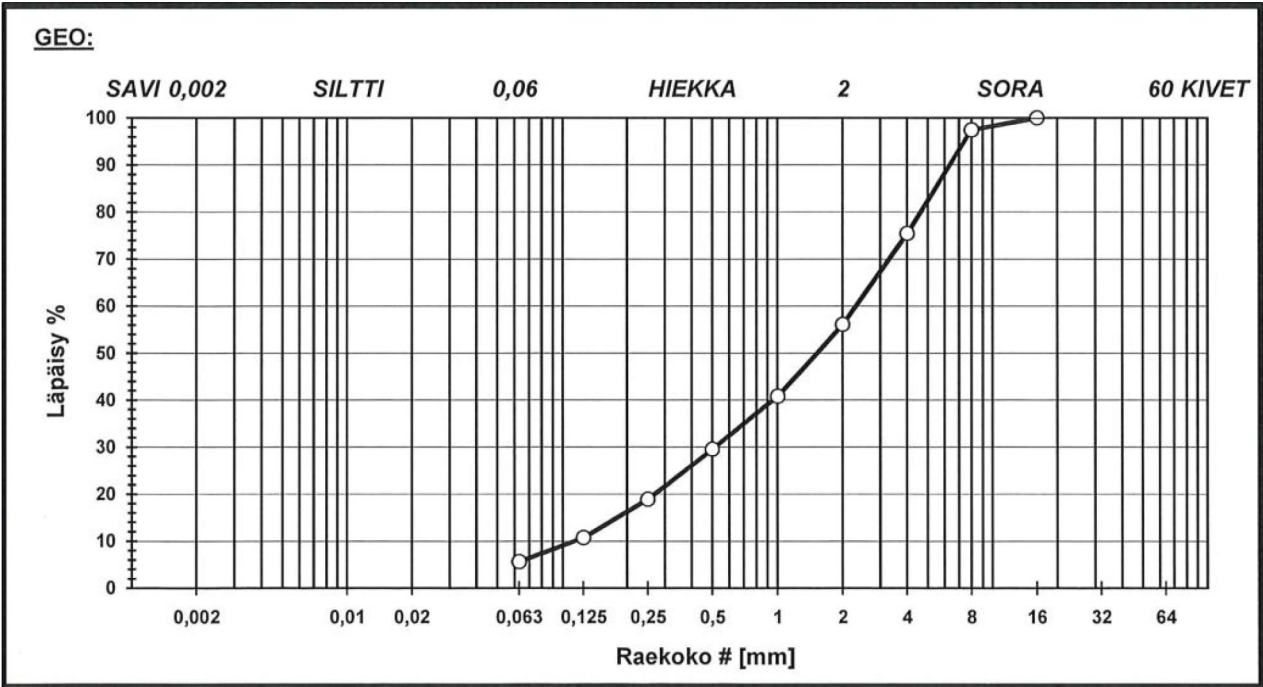
**Murskekoko 0-16 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%**



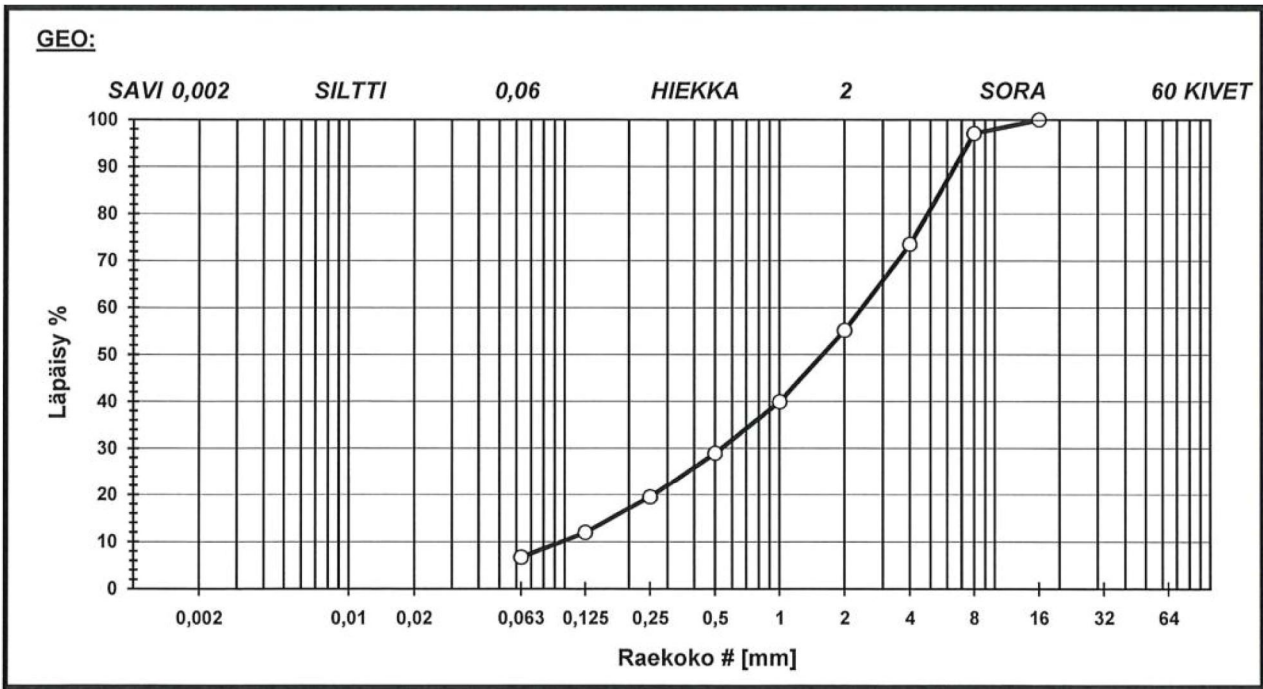
**Murskekoko 0-16 mm 90 til-%, biomulta 10 til-%**



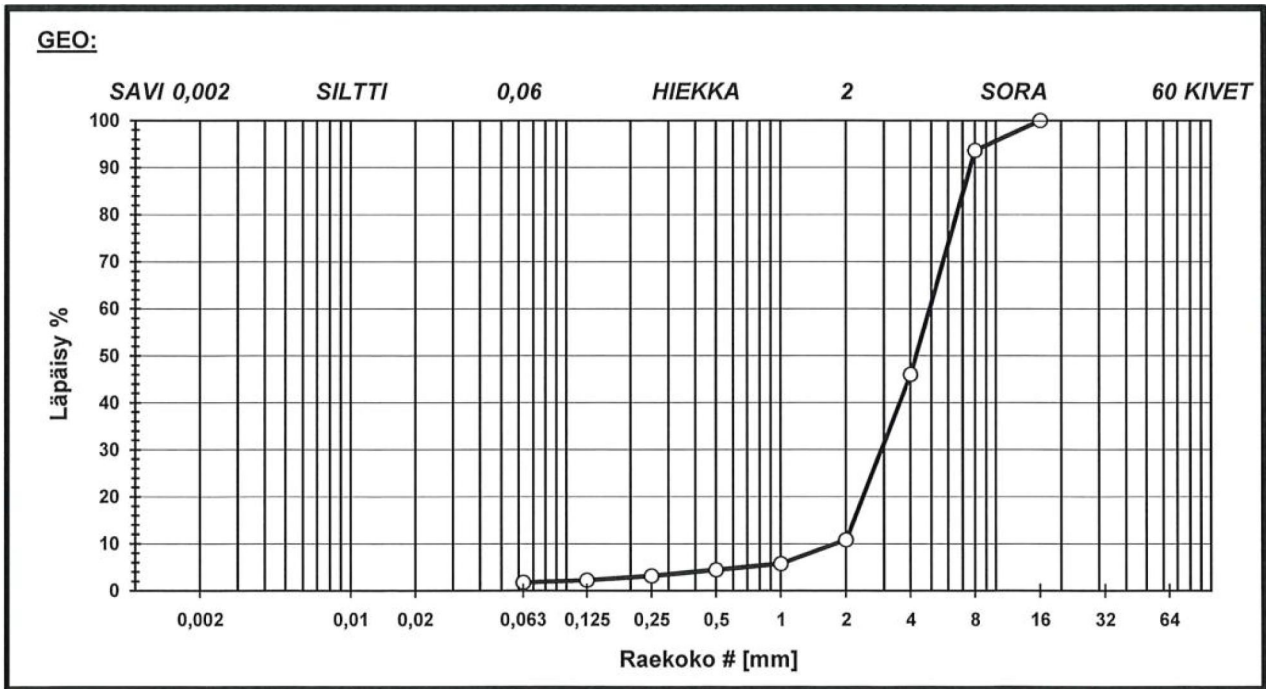
**Murskekoko 0-8 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%**



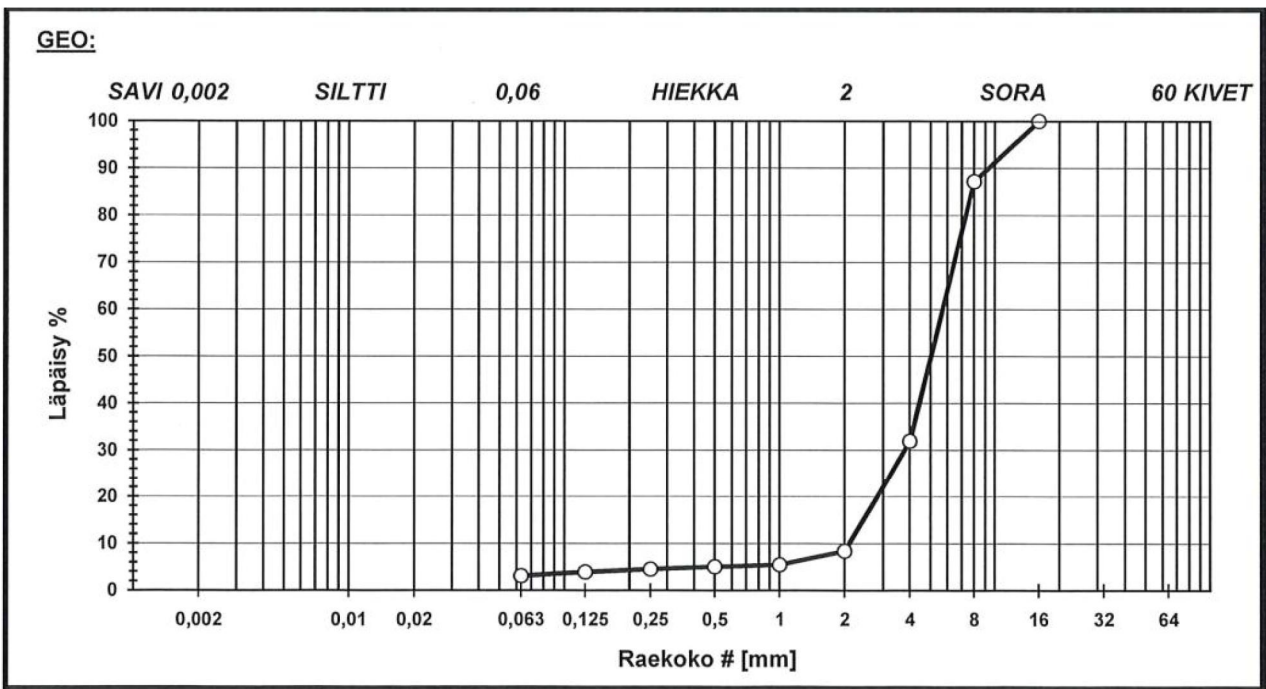
**Murskekoko 0-8 mm 90 til-%, biomulta 10 til-%**



**Murskekoko 2-8 mm 80 til-%, biomulta 20 til-%**

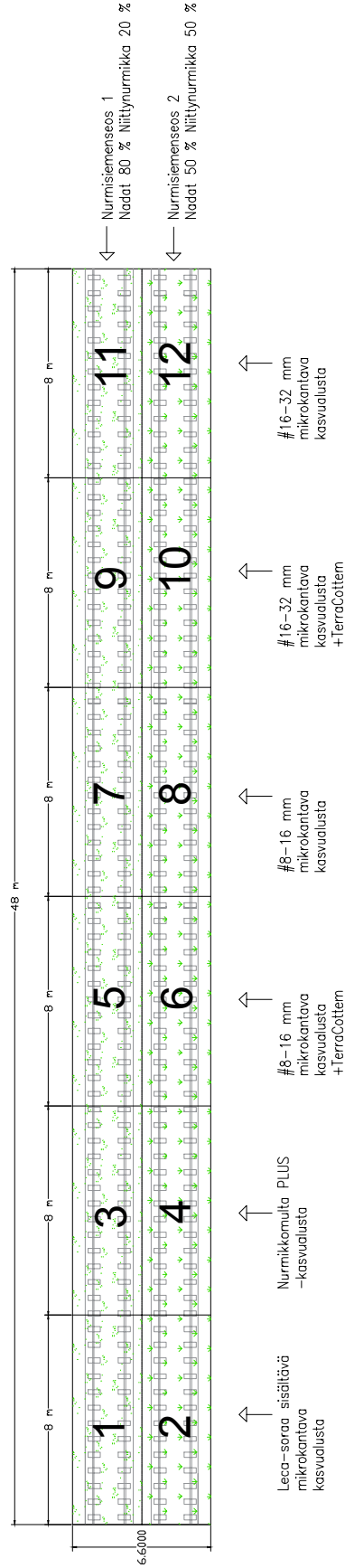


**Murskekoko 2-8 mm 90 til-%, biomulta 10 til-%**






## LIITE C: ASEMAKUVA NURMIRADAN KOEALOISTA



Koelaatikoiden rajat merkitään kiskoon. Jokainen koepala merkitään latalla, jossa on koepalstan numero ja koepalan sisältö

B	Korjauksen alustan päällekytettävien valaistuksen rakennuttaja	M. Sipilä
A	Korjauksen alustan pölystä, naurusta ja naurustamisen alustan lähtö	M. Sipilä



**Tampereen kaupunki**

**USEAMPI HANKEOSA**      4.8.2016/16817

**NUMMIKATEEN KOKOUSMINUTIT**

X

Näin pöytäkirja on Suostunut/rajoitettiin päätös:	
Muutos	/
Tark.	
Mts.	x
Kokouksen puolesta	
Mk:100	

**Kuntaliikenne ja liikenne**

X

Kuntaliikenne ja liikenne	
Tark.	Mts. Sipilä
Suomen.	Mts. Sipilä
Tampereen kaupunki	
Infra	

4.8.2016/16817/x/67



## LIITE D: KOEALOJEN DOKUMENTOINNIN ASIAKIRJAPOHJA

Nurmiraan koerakenne Dokumentointipohja pvm \_\_\_\_\_

Maan lämpötila \_\_\_\_\_ °C Maan johtoluku ilmoitetaan vaan, jos on yli 2,5 mS/cm

### Koeala 1

Nurmen pituus \_\_\_\_\_ cm  
Viherpeittävyys \_\_\_\_\_ % (silmämääräinen arvio)  
Kosteusmittaukset  
sivuosa \_\_\_\_\_ %  
sivuosa\_pinta \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä\_pinta \_\_\_\_\_ %  
  
Väliosa \_\_\_\_\_ %  
Väliosa\_pinta \_\_\_\_\_ %

### Koeala 2

Nurmen pituus \_\_\_\_\_ cm  
Viherpeittävyys \_\_\_\_\_ % (silmämääräinen arvio)  
Kosteusmittaukset  
sivuosa \_\_\_\_\_ %  
sivuosa\_pinta \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä\_pinta \_\_\_\_\_ %

### Koeala 3

Nurmen pituus \_\_\_\_\_ cm  
Viherpeittävyys \_\_\_\_\_ % (silmämääräinen arvio)  
Kosteusmittaukset  
sivuosa \_\_\_\_\_ %  
sivuosa\_pinta \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä\_pinta \_\_\_\_\_ %  
  
Väliosa \_\_\_\_\_ %  
Väliosa\_pinta \_\_\_\_\_ %

### Koeala 4

Nurmen pituus \_\_\_\_\_ cm  
Viherpeittävyys \_\_\_\_\_ % (silmämääräinen arvio)  
Kosteusmittaukset  
sivuosa \_\_\_\_\_ %  
sivuosa\_pinta \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä \_\_\_\_\_ %  
laatan päältä\_pinta \_\_\_\_\_ %

**Koeala 5**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	
Väliosä	_____	%	
Väliosä_pinta	_____	%	

**Koeala 6**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	

**Koeala 7**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	
Väliosä	_____	%	
Väliosä_pinta	_____	%	

**Koeala 8**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	

**Koeala 9**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	

Väliosä	_____	%
Väliosä_pinta	_____	%

**Koeala 10**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	

**Koeala 11**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	
 Väliosä	_____	%	
Väliosä_pinta	_____	%	

**Koeala 12**

Nurmen pituus	_____	cm	
Viherpeittävyys	_____	%	(silämääräinen arvio)
Kosteusmittaukset			
sivuosa	_____	%	
sivuosa_pinta	_____	%	
laatan päältä	_____	%	
laatan päältä_pinta	_____	%	

**MUUT HUOMIOT**